Trabajo de Fin de Máster.

Metodología de Clasificación no Supervisada de Disrupciones en Tokamaks, basada en la Transformada de Hilbert-Huang.



Departamento de Informática y Automática de la ETSI Informática (UNED).



CIEMAT. Laboratorio Nacional de Fusión por Confinamiento Magnético.

Directores del Trabajo de Fin de Máster:

Dr. D. Jesús Antonio Vega Sánchez.

Dr. D. Sebastián Dormido Canto.

Alumno : Francisco Javier Hernández Martín.
Dirección : C/. Santurce, 5 – 5º B 28017 MADRID (Madrid).
D.N.I. : 07.951.952-R.
Teléfono : 679 460 461.
E-Mail : fcojavier.hernandez.martin@outlook.com.

Índice de Contenidos

1. Introducción y motivación del proyecto. Página 9
2. Objetivo del proyecto. Página 12
2.1. ¿Qué se pretende obtener? Página 12
2.2. ¿Cómo se va a obtener? Página 13
2.2.1. ¿Por qué utilizar la Transformada de Hilbert-Huang? Página 14
2.3. ¿Cuándo se comienza a aplicar la Transformada de Hilbert-Huang? Página 15
2.4. ¿Con qué tipo de señal? Página 16
3. Marco de la aplicación. Página 17
3.1. Necesidades Energéticas. Página 17
3.2. International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER). Página 17
3.2.1. Joint European Torus (JET) Página 19
3.2.1.1. JET – Una empresa conjunta Européa. Página 20
3.2.1.2. El papel de EUROfusion. Página 21
3.2.1.3. ¿Cómo se financia JET? Página 21
3.3. ITER y Cadarache. Página 21
3.4. ITER y España. Página 22
3.5. Combustible utilizado para las reacciones de fusión nuclear. Página 22
3.6. Fusión nuclear. Página 23
3.7. Fusión nuclear en la naturaleza. Página 24
3.8. Requisitos técnicos para la fusión nuclear. Página 25
3.9. Confinamiento para la fusión nuclear. Página 25
3.10. Reacciones de fusión nuclear. Página 26
3.11. Últimas noticias sobre el proyecto ITER. Página 27
3.12. El TOKAMAK. Página 29
4. Obtención de los precursores de disrupciones. Página 32
4.1. Criterio de la Máxima Pendiente Media. Página 32
4.2. Criterio según el Factor de Outlier. Página 34
4.3. Criterio de la Máxima Pendiente Media frente al Factor de Outlier. Página 36
5. Descomposición de Modo Empírico (EMD). Página 41
5.1. Proceso de Descomposición. Página 41
5.2. Introducción de casos simples. Página 44
5.3. Descripción detallada de la Descomposición de Modo Empírico (EMD). Página 55
5.4. Representaciones de la frecuencia instantánea frente al tiempo. Análisis Espectral de Hilbert (HSA). Página 86
5.5. Análisis detallado del proceso de Descomposición de Modo Empírico para una descarga experimental de JET, teniendo en cuenta el Criterio de Máxima Pendiente Media como precursor de la disrupción. Página 124
5.6. Análisis detallado del proceso de Descomposición de Modo Empírico para una descarga experimental de JET, teniendo en cuenta el Criterio según el Factor de Outlier como precursor de la disrupción. Página 145

5.7. Análisis detallado del proceso de Descomposición de Modo Empírico para una descarga experimental de JET. Criterio de Máxima Pendiente Media frente al Criterio según el Factor de Outlier. Página 172

6. Tareas de Clasificación No Supervisada. Página 189

7. Conclusiones. Página 231

8. Futuras líneas de trabajo. Página 232

9. Lista de Referencias y Bibliografía. Página 237

9.1. Notas acerca de las referencias y bibliografía empleadas. Página 239

10. Listado siglas, abreviaturas y acrónimos. Página 240

11. Lista de palabras clave. Página 241

12. Anexo A. Procesos que integran la aplicación. Página 244

12.1. Generación de Ficheros de Entrada a la Aplicación. Página 244

12.2. Proceso Principal. Página 256

12.3. Obtener Máximos y Mínimos. Página 257

12.4. Obtener Envolventes. Página 258

12.5. Obtener Función de Hilbert-Huang actualizada. Página 258

12.6. Representación de la Función Original. Página 259

12.7. Representación de la Media de las Envolventes. Página 259

12.8. Representación de cada IMF (Función de Modo Intrínseco). Página 259

12.9. Representación del Residuo. Página 260

12.10. Reconstrucción y Representación de la Función Original. Página 260

12.11. Representación Conjunta de las IMF's. Página 260

12.12. Representación Conjunta de los Residuos. Página 261

12.13. Obtener Espectrograma de los Datos Originales. Página 261

12.14. Obtener Espectrograma de los Datos Interpolados. Página 262

12.15. Obtener Espectrograma Conjunto de las IMF's Resultantes. Página 262

12.16. Separar IMF's. Página 263

12.17. Obtener Datos a Clasificar. Página 263

13. Anexo B. Código fuente empleado en la implementación de la aplicación. Página 265

Lista de Figuras

Figura 1.1. Imagen de los daños ocasionados en el dispositivo, debidos a consecuencias térmicas. Página 9

Figura 1.2. Imagen de los daños ocasionados en el dispositivo, debidos a grandes corrientes de electrones muy energéticos. Página 10

Figura 2.1. Esquema general del objetivo a obtener. Página 12

Figura 3.1. Vista interna del recipiente, con una pared metálica completa de berilio y tungsteno. Página 19

Figura 3.2. Imagen de las instalaciones de la organización. Página 21

Figura 3.3. Reacción que tiene lugar en el proceso de fusión. Página 24

Figura 3.4. Imagen que representa la reacción de fusión en el Sol. Página 24

Figura 3.5. Imagen que muestra las dimensiones del dispositivo TOKAMAK. Página 29

Figura 3.6. Esquema general desde la producción de energía hasta su distribución. Página 30

Figura 3.7. Esquema de funcionamiento de las bobinas magnéticas en el dispositivo TOKAMAK. Página 31

Figura 4.1. Representación de la amplitud con respecto al tiempo de las 1.024 muestras de la señal Locked Mode, previas al instante de la disrupción, par la descarga experimental de JET 84677 de la campaña C3132. Página 33

Figura 4.2. Resultados de las muestras después de aplicar el Criterio de la Máxima Pendiente Media. Página 33

Figura 4.3. Resultados de las muestras después de aplicar el Criterio según el Factor de Outlier. Página 36

Figura 4.4. Espectrograma que representa las frecuencias instantáneas con respecto al tiempo para Figura 4.1. Página 37

Figura 4.5. Espectrograma que representa las frecuencias instantáneas con respecto al tiempo para Figura 4.2. Página 38

Figura 4.6. Representación del coeficiente del Factor de Outlier con respecto al tiempo de las 924 muestras de la señal Locked Mode, previas al instante de la disrupción, par la descarga experimental de JET 84677 de la campaña C3132. Página 39

Figura 4.7. Espectrograma que representa las frecuencias instantáneas con respecto al tiempo para Figura 4.3. Página 40

Figura 5.1. Visión global del proceso de Descomposición de Modo Empírico. Página 41

Figura 6.1. Dendrograma para 2 clases según el vecino más próximo. Página 193

Figura 6.2. Dendrograma para 2 clases según el centroide más próximo. Página 194

Figura 6.3. Dendrograma para 3 clases según el vecino más próximo. Página 195

Figura 6.4. Dendrograma para 3 clases según el centroide más próximo. Página 196

Figura 6.5. Dendrograma para 4 clases según el vecino más próximo. Página 197

Figura 6.6. Dendrograma para 4 clases según el centroide más próximo. Página 198

Figura 6.7. Dendrograma para 5 clases según el vecino más próximo. Página 199

Figura 6.8. Dendrograma para 5 clases según el centroide más próximo. Página 200

Figura 6.9. Dendrograma para 6 clases según el vecino más próximo. Página 201

Figura 6.10. Dendrograma para 6 clases según el centroide más próximo. Página 202

Figura 6.11. Dendrograma para 7 clases según el vecino más próximo. Página 203

Figura 6.12. Dendrograma para 7 clases según el centroide más próximo. Página 204

Figura 6.13. Dendrograma para 8 clases según el vecino más próximo. Página 205

Figura 6.14. Dendrograma para 8 clases según el centroide más próximo. Página 206

Figura 6.15. Dendrograma para 9 clases según el vecino más próximo. Página 207
Figura 6.16. Dendrograma para 9 clases según el centroide más próximo. Página 208
Figura 6.17. Dendrograma para 10 clases según el vecino más próximo. Página 209
Figura 6.18. Dendrograma para 10 clases según el centroide más próximo. Página 210
Figura 6.19. Dendrograma para 11 clases según el vecino más próximo. Página 212
Figura 6.20. Dendrograma para 11 clases según el centroide más próximo. Página 212
Figura 6.21. Dendrograma para 12 clases según el vecino más próximo. Página 214
Figura 6.22. Dendrograma para 12 clases según el centroide más próximo. Página 214
Figura 6.23. Dendrograma para 13 clases según el vecino más próximo. Página 216
Figura 6.24. Dendrograma para 13 clases según el centroide más próximo. Página 216
Figura 6.25. Dendrograma para 14 clases según el vecino más próximo. Página 218
Figura 6.26. Dendrograma para 14 clases según el centroide más próximo. Página 218
Figura 6.27. Dendrograma para 15 clases según el vecino más próximo. Página 220
Figura 6.28. Dendrograma para 15 clases según el centroide más próximo. Página 221
Figura 8.1. Esquema para análisis supervisado de varias señales. Página 232
Figura 8.2. Esquema para análisis supervisado en cascada. Página 232
Figura 8.3. Proceso de análisis supervisado mediante predictores Venn según el Centroide más próximo. Página 234
Figura 8.4. Proceso de análisis supervisado mediante predictores Venn según el Vecino más próximo. Página 236
Figura 12.1. Proceso de obtención de los ficheros de entrada a la aplicación. Página 251
Figura 12.2. Proceso de obtención del instante de Máxima Pendiente Media. Página 254
Figura 12.3. Proceso de obtención del instante en el que se detecta Factor de Outlier >= 6. Página 256
Figura 12.4. Proceso principal representativo de la Descomposición de Modo Empírico. Página 256
Figura 12.5. Proceso de obtención de Máximos y Minimos para el ciclo actual de procesamiento. Página 257
Figura 12.6. Proceso de obtención de la envovente superior e inferior en el ciclo actual de procesamiento. Página 258
Figura 12.7. Proceso de obtención de la nueva función en el ciclo actual de procesamiento. Página 258
Figura 12.8. Proceso de obtención de la gráfica para las 1.024 muestras previas a la disrupción. Página 259
Figura 12.9. Proceso de obtención de la gráfica para la media entre la envolvente superior e inferior. Página 259
Figura 12.10. Proceso de obtención de la gráfica para cada IMF que se va obteniendo en la EMD. Página 259
Figura 12.11. Proceso de obtención de la gráfica para cada residuo que se va obteniendo en la EMD. Página 260
Figura 12.12. Proceso de reconstrucción de la función original según IMFs y último residuo obtenidos. Página 260
Figura 12.13. Proceso de obtención de todas las gráficas de las IMFs obtenidas a modo de resumen. Página 261
Figura 12.14. Proceso de obtención de todas las gráficas de los residuos obtenidos a modo de resumen. Página 261
Figura 12.15. Proceso de obtención del espectrograma para las 1.024 muestras previas al instante de la disrupción. Página 261
Figura 12.16. Proceso de obtención del espectrograma para el conjunto de datos interpolado. Página 262
Figura 12.17. Proceso de obtención de los espectrogramas para el conjunto de las IMFs obtenidas. Página 262
Figura 12.18. Proceso de separación de los datos. Se forman tantos conjuntos de datos como número de IMFs haya. Página 263
Figura 12.19. Proceso de carga de datos en los distintos tipos de clasificadores. Página 264

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Análisis comparativo entre las Transformadas de Fourier, Wavelet y Hilbert. Página 14

Tabla 6.1. Amplitudes de las 16 primeras muestras de la primera IMF. Página 190

Tabla 6.2. Amplitudes de las 16 últimas muestras de la primera IMF. Página 191

Tabla 6.3. Resultados comparativos teniendo en cuenta 2 clases. Página 193

Tabla 6.4. Resultados comparativos teniendo en cuenta 3 clases. Página 195

Tabla 6.5. Resultados comparativos teniendo en cuenta 4 clases. Página 197

Tabla 6.6. Resultados comparativos teniendo en cuenta 5 clases. Página 199

Tabla 6.7. Resultados comparativos teniendo en cuenta 6 clases. Página 201

Tabla 6.8. Resultados comparativos teniendo en cuenta 7 clases. Página 203

Tabla 6.9. Resultados comparativos teniendo en cuenta 8 clases. Página 205

Tabla 6.10. Resultados comparativos teniendo en cuenta 9 clases. Página 207

Tabla 6.11. Resultados comparativos teniendo en cuenta 10 clases. Página 209

Tabla 6.12. Resultados comparativos teniendo en cuenta 11 clases. Página 211

Tabla 6.13. Resultados comparativos teniendo en cuenta 12 clases. Página 213

Tabla 6.14. Resultados comparativos teniendo en cuenta 13 clases. Página 215

Tabla 6.15. Resultados comparativos teniendo en cuenta 14 clases. Página 217

Tabla 6.16. Resultados comparativos teniendo en cuenta 15 clases. Página 219

Agradecimientos.

A mis directores de Trabajo de Fin de Master, Dr. D. JESÚS ANTONIO VEGA SÁNCHEZ como Jefe de la Unidad de Adquisición de Datos del Laboratorio Nacional de Fusión (CIEMAT) y Dr. D. SEBASTIÁN DORMIDO CANTO como Director del Departamento de Informática y Automática de la UNED. Sin ellos, el trabajo que aquí se presenta no habría sido posible. Con su dilatada experiencia y consejos me han guiado sabiamente para avanzar en este trabajo.

Dedicatoria.

A mis padres Adelio y Felicísima, que me educaron en la cultura del esfuerzo y de los valores; algo que parece estar cada día más en desuso. Mención especial a mi padre, que ya no se encuentra entre nosotros, gracias por enseñarme todo lo que aprendí de Vd. Sus consejos, en cada una de las etapas por las que he pasado, han sido aplicados; surtiendo el efecto deseado.

A mi mujer, compañera de viaje durante más de veinticinco años, siempre cercana, presente en momentos dulces y en otros amargos; pero juntos hemos podido sumar cuando hemos vivido situaciones adversas. Ha sido ella fundamentalmente la que me ha soportado en situaciones de estrés ante exámenes o prácticas que debía entregar a la universidad. Me ha permitido disponer de todo el tiempo necesario para mí, a pesar de no poder dedicárselo ella. Muchas gracias, Rosa.

A Alejandro (mi hijo), para que encuentre los beneficios que se pueden conseguir mediante la disciplina y el esfuerzo. Y que a través de ellos pueda crecer profesionalmente, alcanzando sus metas.

1. Introducción y motivación del proyecto.

El proyecto que aquí se presenta, está enmarcado dentro del campo de la fusión. El interés por este campo está motivado porque un día podría sustituir a las actuales fuentes de energía.

Uno de los principales problemas de los dispositivos experimentales de fusión termonuclear es la aparición de un tipo de inestabilidad denominada disrupción. La disrupción se produce por una repentina pérdida del confinamiento del plasma. En ese momento, la enorme cantidad de energía que se libera va hacia las paredes del dispositivo; pudiendo dañarlo de tal forma que lo deje inutilizado. Por tanto, en operación, es deseable el poder predecir si la descarga que se está produciendo, puede dar lugar a una disrupción. Una vez que se predice la disrupción, en el caso de que se prediga con suficiente antelación, se puede realizar alguna acción de mitigación.

Dichas disrupciones son propias de los dispositivos TOKAMAK. Cuando se produce una disrupción se desencadenan consecuencias muy graves, entre las que cabe destacar [Vega y Otros]:

1. Grandes cargas térmicas en componentes del dispositivo. Pueden aparecer temperaturas diez veces superiores al umbral en el que se funden los materiales. En la Figura 1.1. se muestra como se funden dichos materiales.

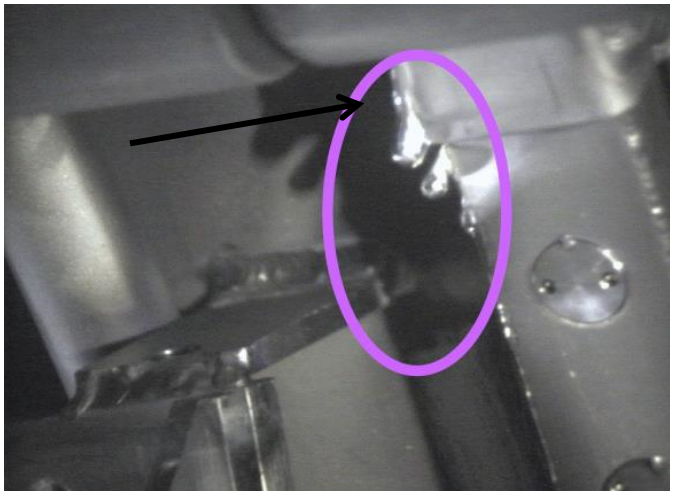


Figura 1.1. Imagen de los daños ocasionados en el dispositivo, debidos a consecuencias térmicas.

2. Se originan enormes fuerzas de origen electromagnético (del orden de 10 Mega Newtons). Para hacernos una idea de estas consecuencias, son equiparables:
    a. Al peso de un Airbus A380: 5,5 MN (Mega Newtons).
    b. O bien al peso de un barco de tamaño medio: 50 MN (Mega Newtons).
3. Se generan grandes corrientes de electrones "runaway" muy energéticos; pudiendo dañar las paredes del dispositivo, tal y como se muestra en la Figura 1.2.

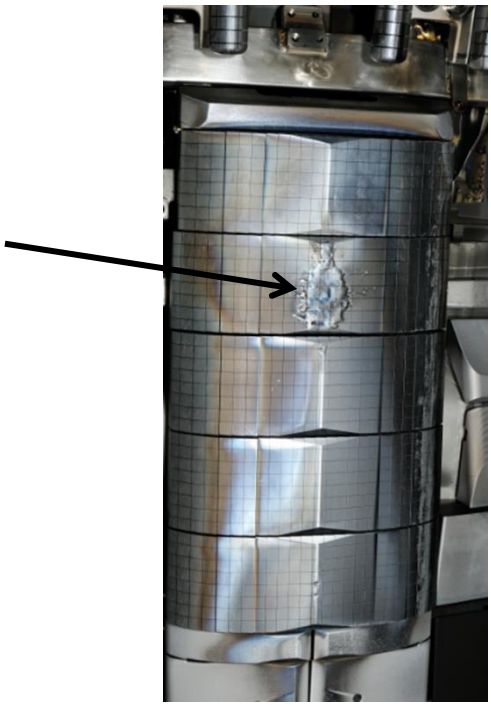


Figura 1.2. Imagen de los daños ocasionados en el dispositivo, debidos a grandes corrientes de electrones muy energéticos.

Hemos de destacar que las consecuencias no son solamente peligrosas para el dispositivo TOKAMAK, sino también para todo el entorno que rodea a dicho dispositivo; incluyendo a las personas. Si se demuestra imposible el control de las disrupciones, la línea TOKAMAK sería inviable como futuro reactor.

El problema que intentamos resolver es poder clasificar los distintos tipos de

disrupción de una manera automática con el fin de poder actuar en distintos escenarios según el tipo de disrupción. Este problema no es fácil. De hecho, en la comunidad científica que aborda este problema, no hay acuerdo en los intentos de clasificaciones que se han realizado. El trabajo que se presenta tiene como objetivo analizar mediante la transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005], y utilizando únicamente la señal magnética del Locked Mode si es posible obtener una clasificación No-supervisada [Url5] para los distintos tipos de disrupciones. La señal del Locked Mode es una señal magnética que mide la rotación del plasma, está disponible en la totalidad de los dispositivos experimentales de fusión termonuclear y se suele utilizar para la predicción de las disrupciones.

Se sabe que existen diferentes tipos de disrupciones. Y, aunque algunas ha sido posible clasificarlas manualmente gracias a personal experto en fusión, todavía no ha sido posible clasificarlas de forma automática.

Una primera aproximación para dicha automatización, sería una clasificación no supervisada [Url5]; que permitiera determinar posibles clases de disrupciones. Se trata de un proceso muy complejo, ya que su naturaleza puede ser muy diversa (presencia de campos electromagnéticos, densidad del plasma, corriente del plasma, etc), pudiendo darse varios factores desencadenantes de tales disrupciones de forma simultánea.

2. Objetivo del proyecto.

Teniendo en cuenta el recorrido de la Figura 2.1. en el sentido de giro de las agujas de un reloj, una primera visión global del objetivo del proyecto, sería la siguiente.

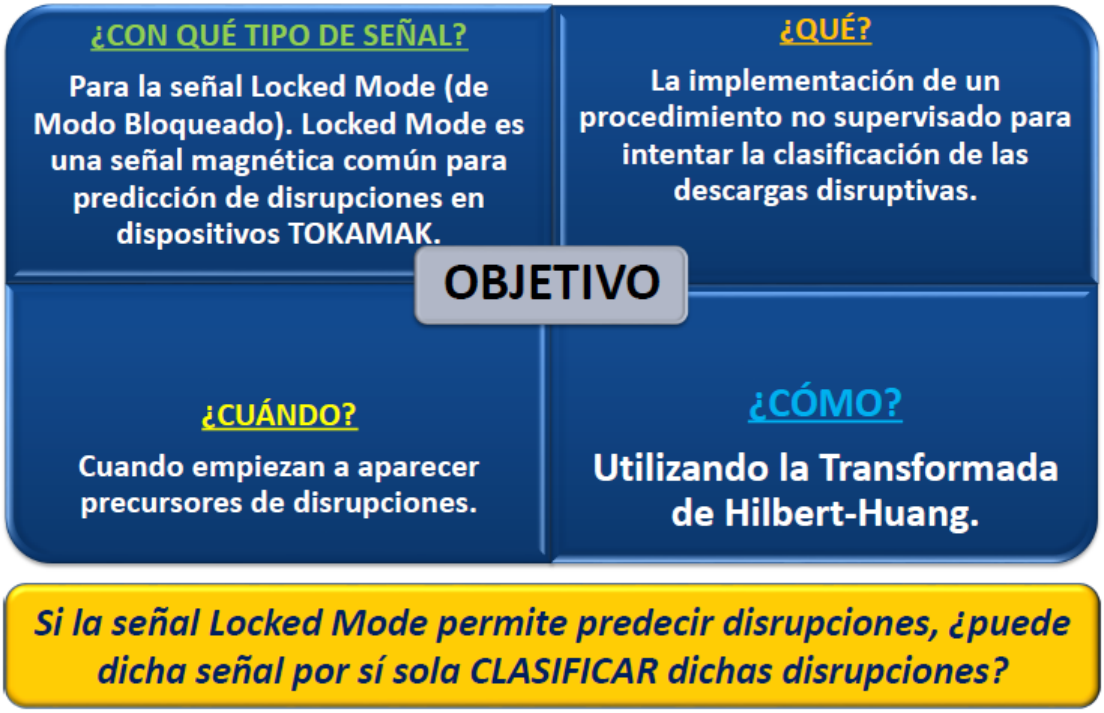


Figura 2.1. Esquema general del objetivo a obtener.

Desarrollamos, a continuación, cada una de las áreas en las que se divide dicho objetivo.

2.1. ¿Qué se pretende obtener?

La implementación de un procedimiento de clasificación no supervisado [Url5], para tratar de clasificar descargas disruptivas. El análisis no supervisado [Url5] se utilizará para tratar de encontrar distintos tipos de disrupciones, buscando si existen componentes intrínsecas en las señales, que permitan realizar esa clasificación.

Mediante dicha clasificación, se podría dar un tratamiento similar a disrupciones que pertenezcan a una misma clase. Ese tratamiento podría consistir, por ejemplo, en la implementación de mecanismos de recuperación de la descarga, antes de que se llegue a

producir la disrupción.

2.2. ¿Cómo se va a obtener?

Utilizando la Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005], dado que se tratan señales no lineales y no estacionarias. La Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005] puede dividirse en dos etapas: Descomposición de Modo Empírico (EMD) [Norden 2005] y Análisis Espectral de Hilbert (HSA) [Norden 2005].

En cuando a la Descomposición de Modo Empírico (EMD) [Norden 2005], se trata de una descomposición filtro paso bajo [Url10], donde las primeras componentes se quedan con las frecuencias más altas.

Una vez realizada la Descomposición de Modo Empírico (EMD) [Norden 2005], se puede aplicar el Análisis Espectral de Hilbert (HSA) [Norden 2005] a cada una de las Funciones de Modo Intrínseco (IMF) obtenidas en la etapa de descomposición. De esta forma, se obtiene la frecuencia instantánea para cada componente temporal. Esto se consigue a través de los espectrogramas, de los que se muestran varios casos en el desarrollo de esta memoria.

Se ha tenido en cuenta sólo la primera IMF, ya que los precursores de disrupciones generan altas frecuencias en las señales; y se trata de buscar aquellas componentes intrínsecas con mayor contenido en frecuencias. Este es el caso de la primera IMF.

Más adelante, se describirá con detalle el proceso que sigue la Descomposición de Modo Empírico [Norden 2005]. Asimismo, se mostrarán varios espectrogramas; representativos del Análisis Espectral de Hilbert [Norden 2005].

2.2.1. ¿Por qué utilizar la Transformada de Hilbert-Huang?

Si nos fijamos en la Tabla 2.1., donde se relacionan además la Transformada de Fourier y la Transformada de Wavelet [Norden 2005]:

	Fourier	Wavelet	Hilbert
Basis	*a priori*	*a priori*	adaptive
Frequency	convolution: global uncertainty	convolution: regional uncertainty	differentiation: local, certainty
Presentation	energy-frequency	energy-time-frequency	energy-time-frequency
Nonlinear	no	no	yes
Nonstationary	no	yes	yes
Feature Extraction	no	discrete: no; continuous: yes	yes
Theoretical base	theory complete	theory complete	empirical

Tabla 2.1. Análisis comparativo entre las Transformadas de Fourier, Wavelet y Hilbert.

Los métodos tradicionales de análisis de datos se basan en suposiciones lineales y estacionarias, frente a los sistemas reales (ya sean naturales o artificiales); donde los datos suelen ser no lineales y no estacionarios.

En la tabla se observa que:

- La base sobre la que se construyen las Transformadas de Fourier y Wavelet parte de suposiciones a priori, mientras que para la Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005] se trata de una base adaptativa (a posteriori); por ser dependiente de los datos.

  La condición necesaria para representar datos no lineales y no estacionarios (como las descargas disruptivas que estamos tratando), es tener una base adaptativa; de forma que se puedan producir efectos físicos significativos.

  La base de expansión adaptativa tendría su explicación basada en la obtención de las sucesivas IMFs. La adaptación se va realizando con

cada uno de los sucesivos filtrados, sobre la señal objeto del estudio.

- Con respecto a la frecuencia, la Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005] mejora la eficiencia tando de la amplitud variable como de la frecuencia instantánea; representando una expansión generalizada de Fourier.
- La Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005] dio resultados mucho más nítidos que cualquiera de los análisis de las representaciones tiempo-frecuencia-energia.
- La Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005] acomoda tanto los datos no lineales, como los no estacionarios.
- La Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005] permite la extracción de las frecuencias características (componentes intrínsecas de frecuencia).
- La Transformada de Hilbert-Huang [Norden 2005] es un método de análisis empírico (basado en la experimentación), frente a los modelos teóricos de Fourier y Wavelet.

2.3. ¿Cuándo se comienza a aplicar la Transformada de Hilbert-Huang?

El instante de interés para nuestro análisis, comienza cuando empiezan a aparecer precursores de disrupciones. Normalmente la señal se comporta de forma uniforme, pero en el instante que comienzan a producirse anomalías, se comienzan a observar cambios bruscos en el comportamiento de la señal. Nos interesa tomar el instante, a partir del cual comienzan dichas anomalías con la señal. Partiendo de las muestras de la señal Locked Mode de cada una de las descargas disruptivas, y obtenido el instante donde comienzan los precursores de disrupciones, se analizará el comportamiento de dicha descarga para el intervalo temporal comprendido entre el instante donde surgen dichos precursores de disrupciones y el instante en el que se produce la disrupción. La extracción de las muestras que forman dicho intervalo, constituirán la función de partida para la EMD (Descomposición de Modo Empírico [Norden 2005]). El intervalo temporal en el que se detectan los precursores de

disrupciones, no es el mismo para todas las descargas; pudiendo variar desde décimas de milisegundo hasta un segundo. Para ello se han analizado dos alternativas: Criterio según la máxima pendiente media y Criterio según el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11].

El Criterio de la Máxima Pendiente Media trata de encontrar el instante de máxima variación de la amplitud de la señal. De forma que, cuando la amplitud de la señal aumenta, disminuye la velocidad de rotación del plasma; pudiendo llegar a anularse dicha velocidad y provocando la disrupción.

El Criterio según el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] trata de encontrar el instante en el que la amplitud de la señal aparece más alejada de su valor medio, de forma que un coeficiente indicará el número relativo de unidades que la amplitud se halla alejada con respecto a los valores medios de la misma, obtenidos hasta dicho instante.

Más adelante, serán mostrados con más detalle los procesos que permiten obtener los instantes precursores de las disrupciones.

2.4. ¿Con qué tipo de señal?

Para la implementación de dicho procedimiento se ha centrado la atención en la señal Locked Mode (o Amplitud de Modo Bloqueado). Se trata de una señal común que se utiliza para la predicción de disrupciones en los dispositivos TOKAMAK. Durante un experimento, si la amplitud de la señal Locked Mode cruza un umbral determinado, se activará una alarma.

Ante lo expuesto anteriormente, cabe preguntarse si dado que la señal Locked Mode permite predecir disrupciones, ¿puede dicha señal por si sola CLASIFICAR dichas disrupciones?

3. Marco de la aplicación.

Para situar el entorno sobre en el que se explotaría esta aplicación, se ha tomado como fuente de información [Url1] que se trata de un Foro de la Industria Nuclear Española. Y [Url13] que representa la sección del proyecto internacional ITER circunscrita a la Unión Europea. Para situar el marco de aplicación de este proyecto también se han tenido en cuenta [Url1] y [Url2].

Pasando a detallar alguno de sus contenidos:

3.1. Necesidades Energéticas.

El crecimiento en el consumo energético ha motivado la necesidad de buscar nuevas opciones energéticas para alimentar todo el consumo que inevitablemente se va a necesitar. La fusión, que todavía no existe a nivel industrial, se lleva investigando desde hace años para su desarrollo.

La utilización de la energía generada en la fusión nuclear de átomos ligeros en otros más pesados viene siendo objeto, desde los años 50, de un importante esfuerzo de investigación y desarrollo, debido a la ventaja que presenta la gran cantidad de energía liberada en dicho proceso y la abundancia de deuterio, un isótopo de hidrógeno apto para la fusión.

3.2. International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER).

Dentro de los programas internacionales mediante el sistema por confinamiento magnético, la construcción por la Unión Europea del “Joint European Torus” (JET) en el Reino Unido y los experimentos que en él se llevaron a cabo desde 1983 a 1991 permitieron demostrar la posibilidad de mantener el proceso de fusión en el plasma.

Dados los buenos resultados del JET, en 1990 se decidió continuar el programa de fusión con una instalación mayor en la que, además del reactor, se probasen sus sistemas auxiliares sin generar aún electricidad. A este fin, se creó el proyecto del reactor experimental de fusión ITER (International Thermonuclear Experimental

Reactor), en el que participan siete socios (Unión Europea, India, Japón, Rusia, Estados Unidos, Corea del Sur y China). La construcción se está realizando en Cadarache, al sur de Francia, mientras que España (Barcelona) alberga la Agencia Europea de Fusión.

El objetivo del ITER es determinar la viabilidad tecnológica y económica de la fusión nuclear por confinamiento magnético para la generación eléctrica, como fase previa a la construcción de una instalación de demostración comercial.

Europa ha sido líder en la investigación sobre la fusión nuclear durante 50 años. Todos los aspectos relacionados con la investigación sobre fusión en Europa se coordinan a través de la Comisión Europea. La financiación proviene del Programa Marco de Investigación de EURATOM y de los fondos nacionales de los Estados miembros y de Suiza.

Una de las ventajas que tiene la fusión es su gran potencia específica, la gran capacidad que tiene de generar energía. *El problema es que para que esta reacción sea eficiente hay que conseguir temperaturas de 100-200 millones de grados.*

El reactor ITER se basa en el mismo modus operandi de las estrellas, como el Sol: la fusión nuclear. Este fenómeno físico consiste en la combustión de tritio y deuterio, dos isótopos de hidrógeno, que provocaría su fusión, lo que formaría helio y liberaría una gran cantidad de energía. El deuterio se encuentra abundantemente en el agua del mar, mientras que el tritio es inestable y hay que producirlo artificialmente. En los diseños que se contemplan para futuros reactores de fusión, el tritio se generaría en el propio reactor.

3.2.1. Joint European Torus (JET).

En la Figura 3.1 se muestra una vista del interior de la vasija de vacio para el dispositivo tokamak [Url13].

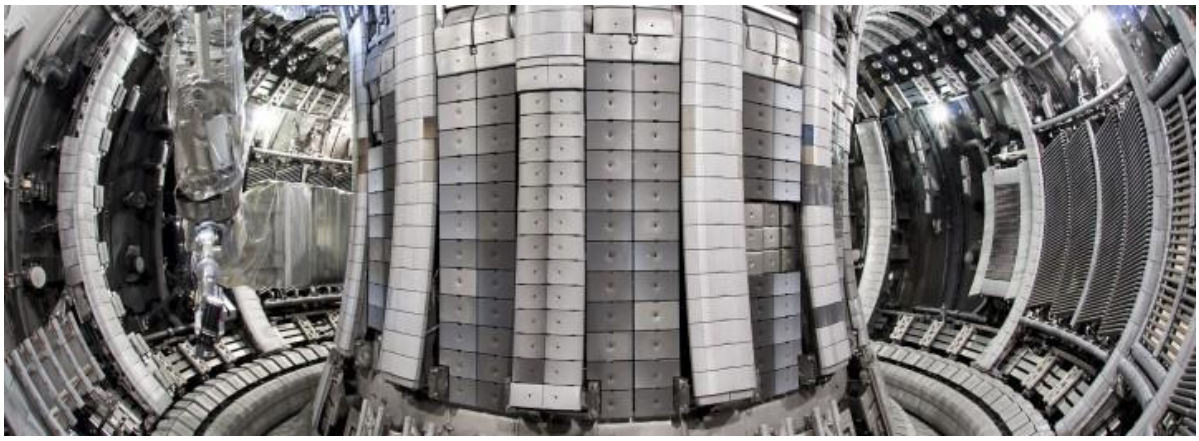


Figura 3.1. Vista interna del recipiente, con una pared metálica completa de berilio y tungsteno.

JET es el tokamak más grande y más potente del mundo y actualmente la única máquina capaz de operar con la mezcla de combustible de deuterio-tritio de futuros reactores comerciales. En funcionamiento desde 1983, JET fue explícitamente diseñado para estudiar el comportamiento del plasma en condiciones y dimensiones que se aproximan a las requeridas en un reactor de fusión. Gracias a un diseño original robusto y flexible, la máquina ha podido evolucionar con los avances en la investigación sobre la fusión y seguir siendo el estado de la técnica hasta nuestros días. Hoy en día, su tarea principal es preparar la construcción y funcionamiento de ITER, actuando como un banco de pruebas para tecnologías ITER y escenarios operativos de plasma.

En el núcleo de la máquina se encuentra el recipiente de vacío donde el plasma de fusión está confinado por fuertes campos magnéticos y corrientes de plasma (hasta 4 tesla y 5 mega amperios). En la configuración actual los radios mayor y menor del toro de plasma son 3 metros y 0.9 metros respectivamente, y el volumen total de plasma es de 90 metros cúbicos. Un desviador en la parte inferior del recipiente de vacío permite que el calor y el gas de escape se agoten de una manera controlada. Desde 2011 la primera pared del recipiente de vacío se ha hecho de berilio y tungsteno, reflejando las

elecciones materiales de ITER. Otras características importantes de JET son:

- Un sistema de calefacción auxiliar de plasma flexible y potente, que consiste en inyección de haz neutro (34 megavatios), calentamiento por resonancia de ciclones de ion (10 megavatios) y transmisión de corriente híbrida inferior (7 megavatios).
- Un extenso conjunto de diagnósticos de alrededor de 100 instrumentos individuales capturando hasta 18 gigabytes de datos brutos por pulso de plasma.
- Un inyector de pellets de alta frecuencia para reabastecimiento de plasma y para estudios de estimulación ELM.
- Una válvula de inyección masiva de gas para estudios de interrupción del plasma.
- Capacidades para operar con combustible de tritio - único entre los tokamaks actuales.
- Instalaciones de manipulación de berilio, que permiten el uso de componentes que se enfrentan al plasma de berilio.
- Instalaciones de manipulación remota que permiten llevar a cabo trabajos avanzados de ingeniería dentro del recipiente de vacío sin necesidad de acceso tripulado.

3.2.1.1. JET - Una empresa conjunta Européa.

El Joint European Torus (JET) investiga el potencial de la energía de fusión como una fuente de energía segura, limpia y prácticamente ilimitada para las generaciones futuras. El tokamak más grande del mundo, es el único experimento de fusión operacional capaz de producir energía de fusión. Como empresa conjunta, JET es utilizado colectivamente por más de 40 laboratorios europeos. El Consorcio Europeo para el Desarrollo de la Energía de Fusión, EUROfusion para abreviar, proporciona la plataforma de trabajo para explotar el JET de una manera eficiente y enfocada. Como consecuencia, más de 350 científicos e ingenieros de toda Europa contribuyen actualmente al programa JET.

La operación de las instalaciones del JET se proporciona como una contribución en especie al consorcio a través de un contrato entre la Comisión Europea y el Culham Centre for Fusion Energy. La Figura 3.2., procedente de [Url13], muestra una imagen

de sus instalaciones.



Figura 3.2. Imagen de las instalaciones de la organización.

3.2.1.2. El papel de EUROfusion.

EUROfusion Consortium proporciona tanto el paraguas bajo el cual sus socios europeos planean la explotación científica colectiva del experimento JET y la financiación para ejecutar los experimentos de acuerdo con la Hoja de Ruta de la Fusión.

3.2.1.3. ¿Cómo se financia JET?

La Comisión Europea financia la operación del JET a través de un contrato con el Centro Culham para la Energía de Fusión (CCFE). Un contrato de operación de 283 millones de euros firmado entre la Comisión Europea y CCFE en julio de 2014 asegura la operación del JET hasta 2018.

3.3. ITER y Cadarache.

A finales del año 2004, se tomó una decisión en cuanto al emplazamiento definitivo del proyecto, entre las candidaturas de Cadarache al sur de Francia y de Rokkasho-Mura en Japón, eligiéndose el emplazamiento francés. Vandellós también optó para acoger este proyecto.

El ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor, contaba con un presupuesto inicial de 5.000 millones de euros de inversión, que podría llegar a

triplicarse. La duración estimada de construcción es de diez años y se espera que se mantenga en operación durante 20 años. Si se cumplen las previsiones, el primer plasma en el ITER se producirá en 2016.

El ITER, que se puede considerar el mayor proyecto científico de investigación energética del mundo, pretende mostrar que es posible tecnológicamente utilizar la fusión nuclear como fuente de energía, del mismo modo que se genera en el sol o en las estrellas. Por el momento, es una máquina de investigación, una máquina experimental.

3.4. ITER y España.

Desde 2007, Barcelona acoge la sede de la Agencia Europea de Fusión (Fusion for Energy, F_4E) donde se coordina todo el esfuerzo europeo en fusión para el ITER y ya ha rebasado las 180 personas, ingenieros, científicos y administrativos, en su dotación. Esta agencia gestionará el presupuesto de inversiones para el ITER, contará con cerca de 300 personas y con un presupuesto de funcionamiento propio de aproximadamente 30 millones de euros a lo largo de 35 años, ya que sus objetivos van más allá del ITER y alcanzan el desarrollo de los "reactores de demostración".

España participa en el ITER a través de la Unión Europea y, aparte de acoger a la agencia F_4E, mantiene un activo programa de I+D, coordinado por CIEMAT a través del Laboratorio Nacional de Fusión [Url15] en el área de la energía de fusión nuclear. Las principales contribuciones se sitúan en los campos de la física del confinamiento magnético, los sistemas de diagnóstico, control de la inyección de energía y regeneración del tritio. Así mismo, nuestro país realiza un importante esfuerzo en el área de las tecnologías de reactor: materiales especiales, sistemas de manipulación remota y sistemas de metal líquido.

3.5. Combustible utilizado para las reacciones de fusion nuclear.

Para las reacciones de fusión nuclear se necesitan núcleos ligeros. Básicamente se utilizan **Deuterio** y **Tritio**, que son dos isótopos del hidrógeno.

El Deuterio es un isótopo estable del hidrógeno formado por un protón y un neutrón. Su abundancia en el agua es de un átomo por cada 6.500 átomos de hidrógeno.

Esto supone que en el agua de mar hay una concentración de 34 gramos de deuterio por metro cúbico de agua. El contenido energético del deuterio es tan elevado que la energía que se puede obtener del deuterio de un litro de agua de mar es equivalente a la energía que se puede obtener de 250 litros de petróleo.

Por este motivo, teniendo en cuenta, que tres cuartas partes del Planeta están cubiertas por agua, se considera la fusión nuclear cómo una fuente de energía inagotable.

El deuterio se obtiene por electrólisis del agua, y sus aplicaciones son muchas en el campo de las reacciones nucleares. También se utiliza en medicina para seguir la trayectoria de algunos cuerpos, como alimentos, medicinas, etc. en el organismo.

El otro elemento empleado en la fusión nuclear, el Tritio, es el isótopo inestable o radiactivo del átomo de hidrógeno. Está compuesto por un protón y dos neutrones y se desintegra por emisión beta con relativa rapidez. Aunque el Tritio es escaso en la naturaleza, se puede generar por reacciones de captura neutrónica con los isótopos del Litio. El Litio es un material abundante en la corteza terrestre y en el agua del mar. La proporción de tritio a hidrogeno es de 1: 10^9.

3.6. Fusión nuclear.

La fusión nuclear es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, en general el hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado. Generalmente esta unión va acompañada con la emisión de partículas (en el caso de núcleos atómicos de deuterio se emite un neutrón). Esta reacción de fusión nuclear libera o absorbe una gran cantidad de energía en forma de rayos gamma y también de energía cinética de las partículas emitidas. Esta gran cantidad de energía permite a la materia entrar en estado de plasma. En la Figura 3.3. se puede apreciar la reacción que tiene lugar.

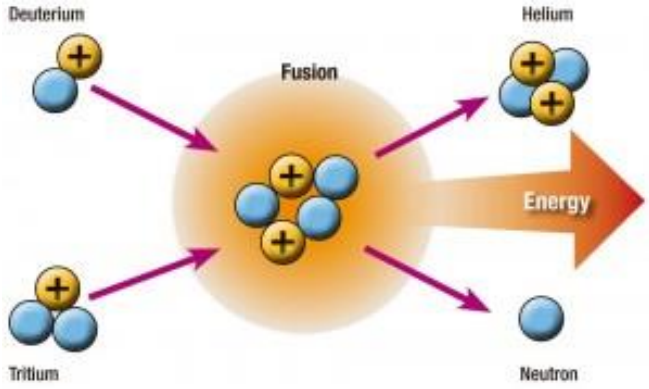


Figura 3.3. Reacción que tiene lugar en el proceso de fusión.

Las reacciones de fusión nuclear pueden emitir o absorber energía. Si los núcleos que se van a fusionar tienen menor masa que el hierro se libera energía. Por el contrario, si los núcleos atómicos que se fusionan son más pesados que el hierro la reacción nuclear absorbe energía.

No confundir la fusión nuclear con la fusión del núcleo de un reactor, que se refiere a la fusión del núcleo del reactor de una central nuclear debido al sobrecalentamiento producido por la deficiente refrigeración. Durante el accidente nuclear de Fukushima, en los medios de comunicación se utilizaba esta expresión frecuentemente.

3.7. Fusión nuclear en la naturaleza.

En la Figura 3.4. se puede apreciar un ejemplo de este tipo de reacciones en la naturaleza.

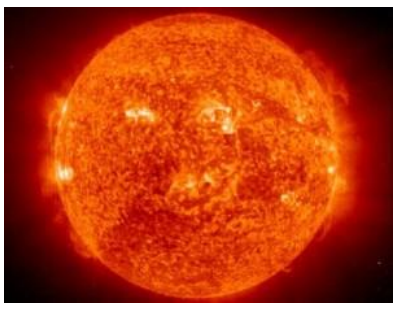


Figura 3.4. Imagen que representa la reacción de fusión en el Sol.

Las estrellas, incluido el Sol, experimentan constantemente reacciones de fusión nuclear. La luz y el calor que percibimos del Sol es el resultado de estas reacciones nucleares de fusión: núcleos de hidrógeno chocan entre sí, y se fusionan dando lugar a un núcleo más pesado de helio liberando una enorme cantidad de energía. La energía liberada llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.

Las fuerzas de gravedad en el universo generan las condiciones perfectas para la fusión nuclear.

A las reacciones de fusión nuclear también se les llama reacciones termonucleares debido a las altas temperaturas que experimentan. En el interior del Sol, la temperatura es cercana a los 15 millones de grados Celsius.

3.8. Requisitos técnicos para la fusión nuclear.

Para efectuar las reacciones de fusión nuclear, se deben cumplir los siguientes requisitos:

Conseguir una temperatura muy elevada para separar los electrones del núcleo y que éste se aproxime a otro venciendo las fuerzas de repulsión electrostáticas. *La masa gaseosa compuesta por los electrones libres y los átomos altamente ionizados se denomina plasma.*

Es necesario el confinamiento para mantener el plasma a temperatura elevada durante un mínimo de tiempo.

Densidad del plasma suficiente para que los núcleos estén cerca unos de otros y puedan generar reacciones de fusión nuclear.

3.9. Confinamiento para la fusión nuclear.

Los confinamientos convencionales que se utilizan en los reactores nucleares de fisión no son posibles debido a las altas temperaturas del plasma que deben soportar. Por este motivo, se han desarrollado dos importantes métodos de confinamiento:

- Fusión nuclear por confinamiento inercial (FCI): Consiste en crear un medio tan denso que las partículas no tengan casi ninguna posibilidad de escapar sin chocar entre sí. Una pequeña esfera compuesta por deuterio y

tritio es impactada por un haz de láser, provocándose su implosión. Así, se hace cientos de veces más densa y explosiona bajo los efectos de la reacción de fusión nuclear.

- *Fusión nuclear por confinamiento magnético (FCM): Las partículas eléctricamente cargadas del plasma son atrapadas en un espacio reducido por la acción de un campo magnético. El dispositivo más desarrollado tiene forma toroidal y se denomina Tokamak.*

3.10. Reacciones de fusión nuclear.

Los elementos atómicos empleados normalmente en las reacciones de fusión nuclear son el Hidrógeno y sus isótopos: el Deuterio (D) y el Tritio (T). Las reacciones de fusión más importantes son:

$$D + T \rightarrow {}^{4}He + n + 17{,}6\ MeV$$

Fusionando un núcleo de Deuterio con un núcleo de Tritio, se obtiene un núcleo de Helio formado por dos neutrones y dos protones, liberanto 1 neutrón y 17,6 MeV de energía.

$$D + D \rightarrow {}^{3}He + n + 3{,}2\ MeV$$

Fusionando dos núcleos de Deuterio, se obtiene un núcleo de Helio formado por un neutrón y dos protones, liberando un neutrón y 3,2 MeV de energía.

$$D + D \dashrightarrow T + p + 4{,}03\ MeV$$

Fusionando dos núcleos de Deuterio, se obtiene un núcleo de Tritio, un protón y 4,03 MeV de energía.

Para que tengan lugar estas reacciones debe suministrarse a los núcleos la energía cinética necesaria para que se aproximen los núcleos que se van a fusionar, venciendo así las fuerzas de repulsión electrostáticas. *Para ello se necesita calentar el gas hasta temperaturas muy elevadas, como las que se supone que tienen lugar en el centro de las estrellas.*

El requisito de cualquier reactor de fusión nuclear es confinar dicho plasma con la temperatura y densidad lo bastante elevadas y durante el tiempo justo, a fin de permitir que ocurran suficientes reacciones de fusión nuclear, evitando que se escapen

las partículas, para obtener una ganancia neta de energía. Esta ganancia energética depende de que la energía necesaria para calentar y confinar el plasma, sea menor que la energía liberada por las reacciones de fusión nuclear. En principio, por cada miligramo de deuterio-tritio se pueden obtener 335 MJ.

3.11. Últimas noticias sobre el proyecto ITER.

En 2012, obtuvo la licencia por las autoridades francesas para construir el proyecto de fusión ITER, y se asignaron las principales partes de la construcción. En 2013, se iniciaron las construcciones correspondientes y en 2014, comenzaron los envíos a Cadarache de los componentes pesados y las actuaciones de los participantes en la construcción.

Los suministros de los componentes se reparten entre los siete países participantes del ITER, con el 90% en forma de contribuciones en especie y el 10% restante mediante compras de un fondo común controlado por la organización del ITER.

En 2012 se otorgaron contratos para el emplazamiento, el criostato, la soldadura de la vasija, la fábrica de helio líquido y la gestión de la logística de los transportes a Cadarache. La Agencia para los suministros europeos F4E ha cancelado el concurso para el suministro de las bobinas poloidales, que se dividirá ahora en contratos más pequeños. En Japón se está desarrollando el divertor, encargado de limpiar el plasma de las "cenizas" de la fusión.

El sistema ITER comprende la instalación principal, el Tokamak, y varias instalaciones externas que incluyen sistemas de vacío, criogénicos, de manipulación remota, suministro de energía, celdas calientes, plantas de tritio y otros. Los principales componentes del Tokamak son los imanes, la vasija de vacío, que pesa 5.000 toneladas, el criostato, el divertor, el revestimiento de primera pared y un complejo sistema de diagnóstico con más de 50 sistemas individuales de medida. Se instalarán 18 bobinas toroidales superconductoras y 6 poloidales. Seis países, con excepción de India, han fabricado 350 toneladas de Nb_3Sn para los conductores. También se han producido en Europa, China y Rusia, 65 toneladas de conductores de NbTi para las bobinas poloidales.

Europa y Corea del Sur fabricarán los sectores en forma de D de la vasija de vacío, con un total de 5.000 toneladas, India proporcionará las placas de blindaje atornilladas en el interior y Rusia y Corea los 44 "puertos" que se soldarán a los sectores. La empresa española Equipos Nucleares se encargará del desarrollo y ejecución de la soldadura de sectores y puertos.

Están en desarrollo y preparación las secciones prototipo de la "primera pared" de berilio, que protegerá interiormente la vasija de vacío del contacto con el plasma, así como el divertor de wolframio.

Por su parte, el criostato del ITER, con 3.800 toneladas de acero (29,3 m x 8,5 m), será la mayor estructura de alto vacío y acero inoxidable del mundo y se fabricará en India.

Los medios de aportación de los 50 MW de energía primaria necesaria para llevar al plasma a la temperatura necesaria para la fusión se ensayarán en una instalación construida por Italia en Padua. En noviembre de 2012, F4E otorgó tres importantes contratos para el suministro de elementos de estos sistemas. El primer sistema de suministro de energía a alta tensión se preveía que llegaría a Cadarache a finales de 2015. El edificio del Tokamak, de siete pisos, será uno de los once edificios que compondrán el complejo del ITER.

3.12. El TOKAMAK.

El Tokamak, **Toroidalbnaya Kamera Magnitnim katushkami** (cámara toroidal con bobinas magnéticas), Construido en el Instituto de la Energía Atómica Kurchatov, fue dirigido por el académico L. Artsimovich. El prodigioso dispositivo poseía un altísimo rendimiento, consistía en una cámara al vacio con forma de toroide (rosquilla), en la que el Tritio (3H) y el Deuterio (2H) eran calentados a temperaturas que alcanzaban **1 keV** (más de 10 millones de grados °C), **alcanzando casi la misma la temperatura de nuestro sol**. Los gases calentados se convertían en plasma y una bobina de inmensa potencia magnetica lo hacían levitar en la cámara. Para muchos científicos, el resultado era demasiado bueno para ser verdad. En la Figura 3.5. se puede observar la magnitud de dicho dispositivo.

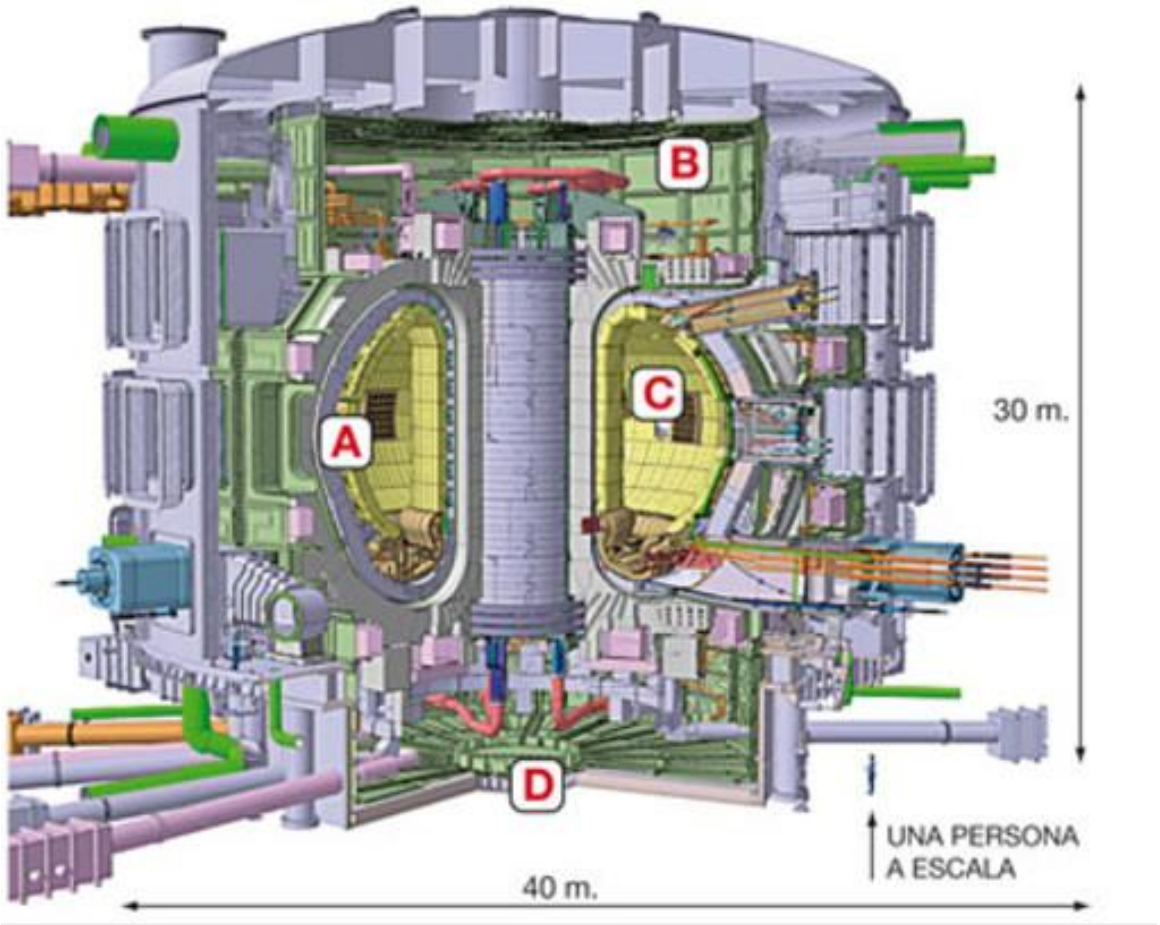


Figura 3.5. Imagen que muestra las dimensiones del dispositivo TOKAMAK.

En la Figura 3.6., procedente de [Url14], se muestra el proceso general desde la generación de energía en el dispositivo TOKAMAK hasta la puesta de dicha energía en la red, para su distribución y consumo.

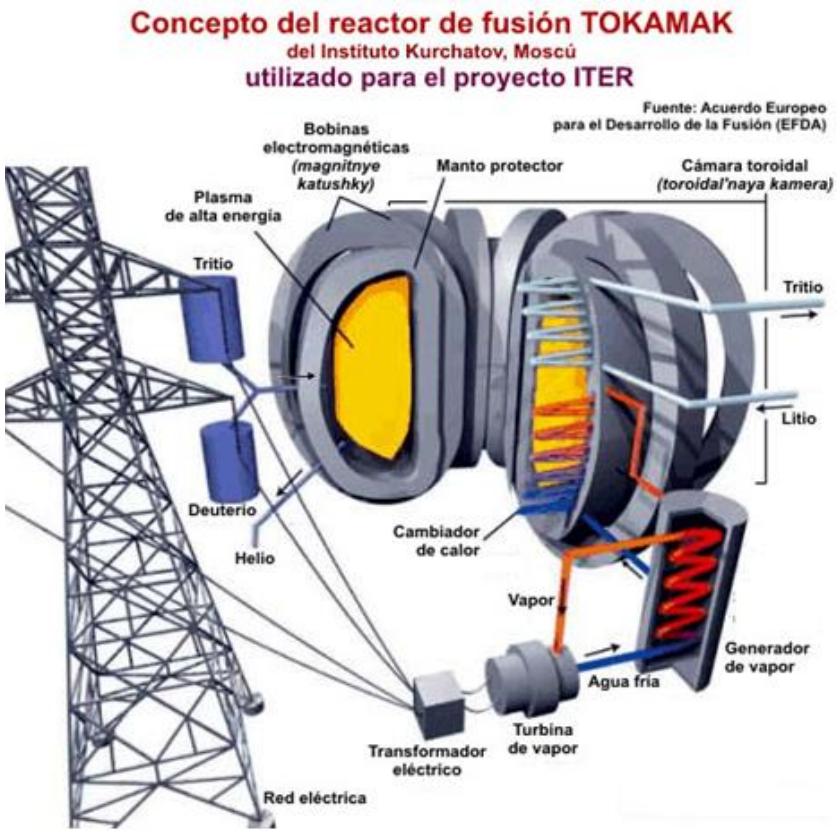


Figura 3.6. Esquema general desde la producción de energía hasta su distribución.

En la Figura 3.7., se muestra el modo en el que actúan las bobinas magnéticas, para impedir que el plasma deje de rotar. Además, la acción de los campos magnéticos evitará que el plasma guarde cierta distancia con las paredes. Si el plasma dejara de rotar, debido a las altas temperaturas, haría que se fundieran los materiales del dispositivo.

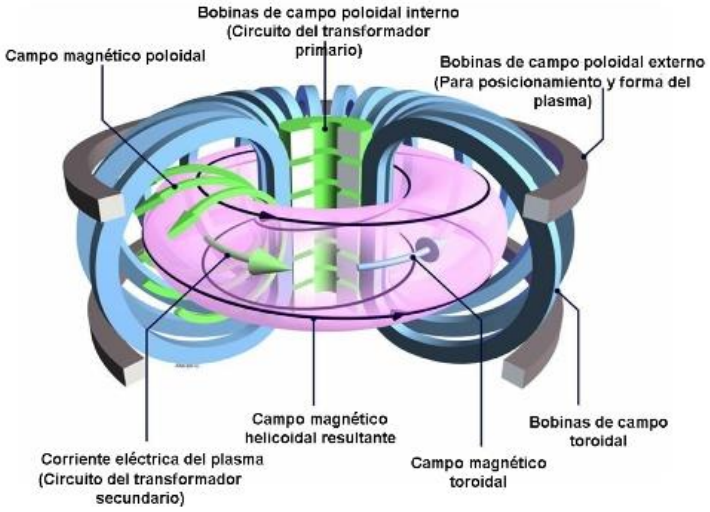


Figura 3.7. Esquema de funcionamiento de las bobinas magnéticas en el dispositivo TOKAMAK.

En 1969 la URSS envió una invitación a un grupo de científicos Británicos los cuales aceptaron la invitación con gran interés, el Tokamak T-3 fue enviado a Moscú; donde los científicos Británicos pudieron confirmar su potencial.

El Tokamak se convirtió entonces en el reactor de fusión más avanzado del mundo y la palabra clave en el estudio de la fusión nuclear con fines civiles, pronto dispositivos Tokamak se comenzarían a construir en varios países.

El Tokamak al igual que sus homologos logra generar altas temperaturas mediante un proceso llamado calentamiento óhmico, en el cual corrientes eléctricas crean un campo electromagnético; aumentando la velocidad con que se mueven partículas, lo que se traduce en aumento de temperatura. Este principio es similar al que utilizan los microondas para calentar las comidas.

4. Obtención de los precursores de disrupciones.

4.1. Criterio de la Máxima Pendiente Media.

El **Criterio de la Máxima Pendiente Media** trata de encontrar el punto de máxima variación de la amplitud de la señal Locked Mode. De forma que, cuando la amplitud de la señal aumenta, disminuye la velocidad de rotación del plasma. Hay que comprobar en qué instante la variación de la amplitud es más importante, y analizar los datos desde dicho instante hasta el final (instante en el que tiene lugar la disrupción).

Como la señal considerada (Locked Mode) está muestreada a razón de 1.000 muestras por segundo, y nos interesa saber qué ocurre a partir de un segundo antes del instante de la disrupción, tomaríamos las 1.000 muestras previas a dicho instante. Para que el número de muestras sea potencia de 2, se han tomado finalmente las 1.024 muestras previas al instante de la disrupción.

Sobre el conjunto inicial de las 1.024 muestras seleccionadas, se van obteniendo las pendientes medias para todos los tramos de crecimiento/decrecimiento de la función. Y de todas las pendientes medias obtenidas, se selecciona aquella cuyo valor absoluto es mayor.

A partir del instante con que se inicia el tramo con máxima pendiente media, se toman todas las muestras de la entrada inicial de datos; interpolándose mediante spline cúbica tantas muestras como sea necesario, hasta completar un total de 1.024 muestras. De esta forma, cuando se llegue a la etapa de CLASIFICACIÓN, todas las descargas llegarán con el mismo número de muestras.

Ha de tenerse en cuenta que no todas las descargas detectan los precursores de disrupciones en el mismo instante. Recordemos que los precursores aparecen cuando comienza la inestabilidad de la función.

Con la interpolación mediante spline cúbica se asegura la continuidad de la función y la continuidad de la primera derivada en todos los puntos, ajustándose a un polinomio de grado 3.

Inicialmente, las últimas 1.024 muestras previas al instante de la disrupción para la descarga 84677, vienen representadas mediante la Figura 4.1.

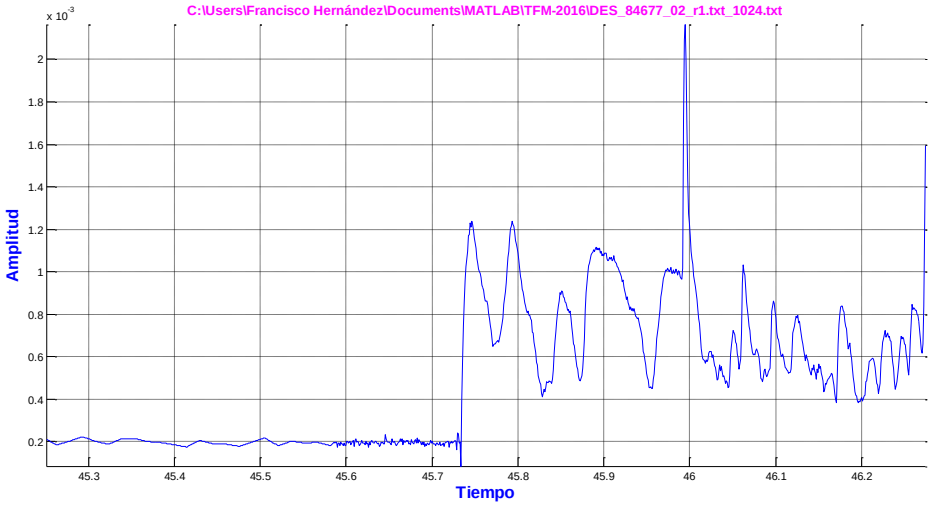


Figura 4.1. Representación de la amplitud con respecto al tiempo de las 1.024 muestras de la señal Locked Mode, previas al instante de la disrupción, par la descarga experimental de JET 84677 de la campaña C3132.

Sobre el conjunto de muestras anterior, hay que realizar el filtro de máxima pendiente media, que se muestra en la Figura 4.2.

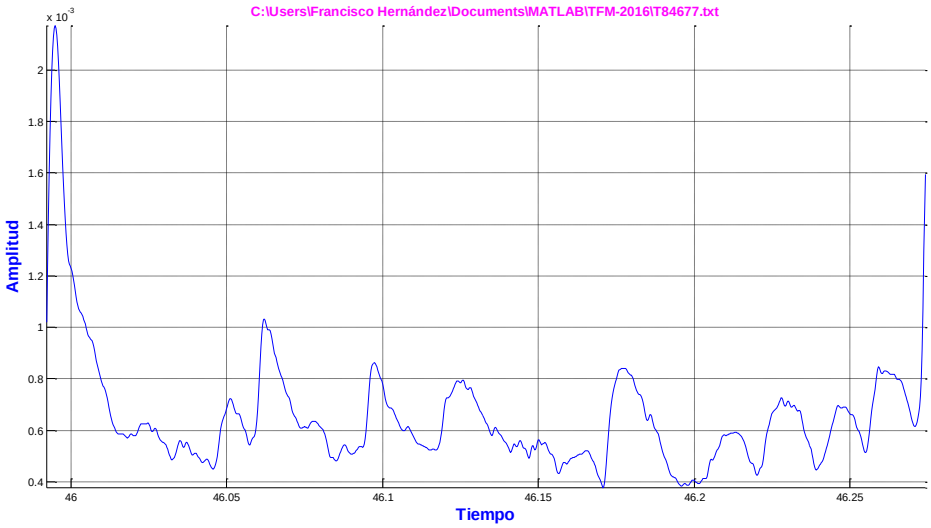


Figura 4.2. Resultados de las muestras después de aplicar el Criterio de la Máxima Pendiente Media.

4.2. Criterio según el Factor de Outlier.

El **Criterio según el Factor de Outlier** [Url7] [Url9] [Url11] trata de encontrar el instante en el que la amplitud de la señal aparece más alejada de su valor medio. Para cada instante en el que la señal está muestreada se calcula un coeficiente que indica el número relativo de unidades que se halla alejada la amplitud de la señal respecto de los valores medios de la amplitud hasta dicho instante.

Al igual que ocurría con el Criterio de la Máxima Pendiente Media, como la señal considerada (Locked Mode) está muestreada a razón de 1.000 muestras por segundo, y nos interesa saber qué ocurre a partir de un segundo antes del instante de la disrupción, tomaríamos las 1.000 muestras previas a dicho instante. Para que el número de muestras sea potencia de 2, se han tomado finalmente las 1.024 muestras previas al instante de la disrupción.

$$Factor(i) = \left| \frac{Amplitud(i) - \ media \sum_{j=1}^{j=i-1} Amplitud(j)}{desviación\ estándar\ \sum_{j=1}^{j=i-1} Amplitud(j)} \right|$$

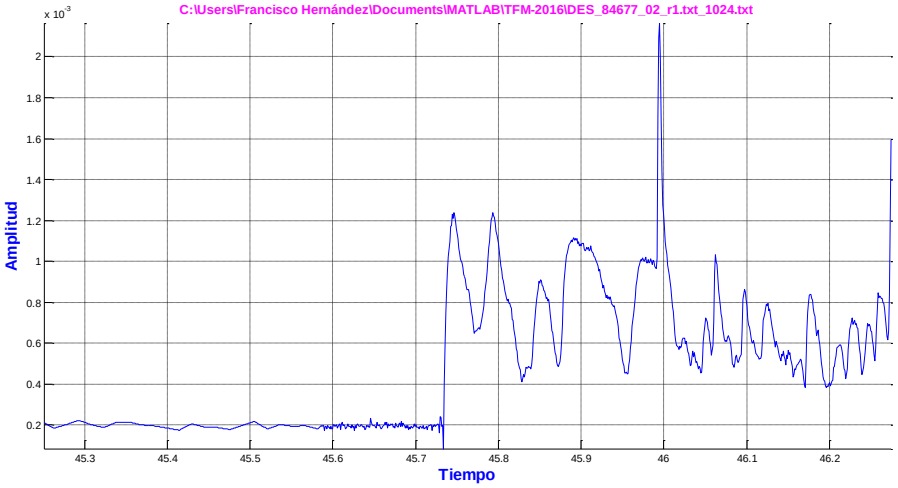
Sobre el conjunto inicial de las 1.024 muestras seleccionadas para cada descarga, se obtiene el instante en el que comienzan a producirse anomalías con la señal Locked Mode, pero teniendo en cuenta a partir de la muestra número 101. De esa forma, sería posible tener valores medios de la amplitud previamente calculados. Dicho instante se produce cuando el coeficiente del Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] supera el valor umbral de 6. Con este valor para el coeficiente, se consigue un número suficientemente representativo de descargas como para intentar clasificarlas. De las 200 descargas disruptivas analizadas, 90 de ellas superaron dicho valor umbral. Las otras 110 descargas disruptivas restantes o bien no llegaban a dicho factor umbral o éste se encontraba muy próximo al instante de la disrupción; por lo que los precursores de disrupciones no se obtenían con la suficiente antelación.

A partir del instante en el que se alcanza el valor umbral, se toman todas las muestras de la entrada inicial de datos; interpolándose mediante spline cúbica tantas muestras como sea necesario, hasta completar un total de 1.024 muestras. De esta forma, cuando se llegue a la etapa de CLASIFICACIÓN, todas las descargas llegarán

con el mismo número de muestras.

Igual que ocurría para el Criterio de la Máxima Pendiente Media, ha de tenerse en cuenta que no todas las descargas detectan los precursores de disrupciones en el mismo instante.

Inicialmente, las últimas 1.024 muestras previas al instante de la disrupción para la descarga 84677, vienen representadas mediante la siguente gráfica (análoga a la Figura 4.1. ya representada con anterioridad). Se vuelve a representar nuevamente para comodidad del lector.



Sobre el conjunto de muestras anterior, hay que realizar el filtro que considera el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11]. El resultado de la aplicación de dicho filtro, se puede observar en la Figura 4.3.

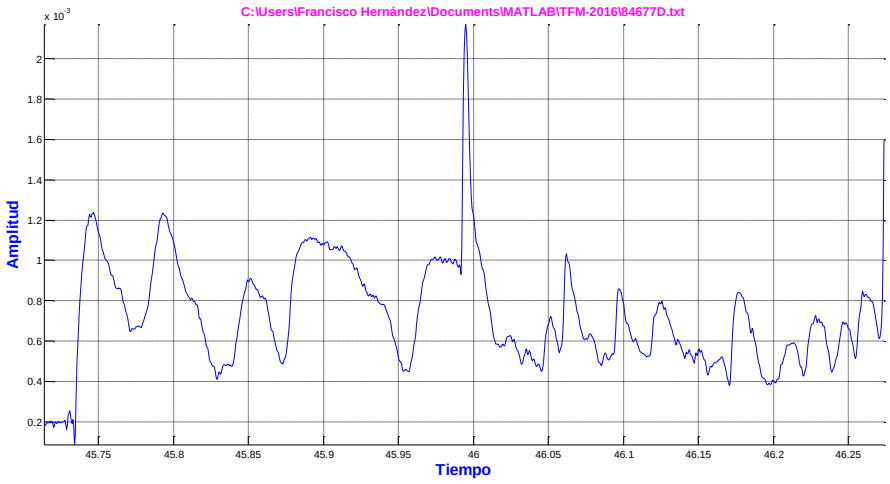
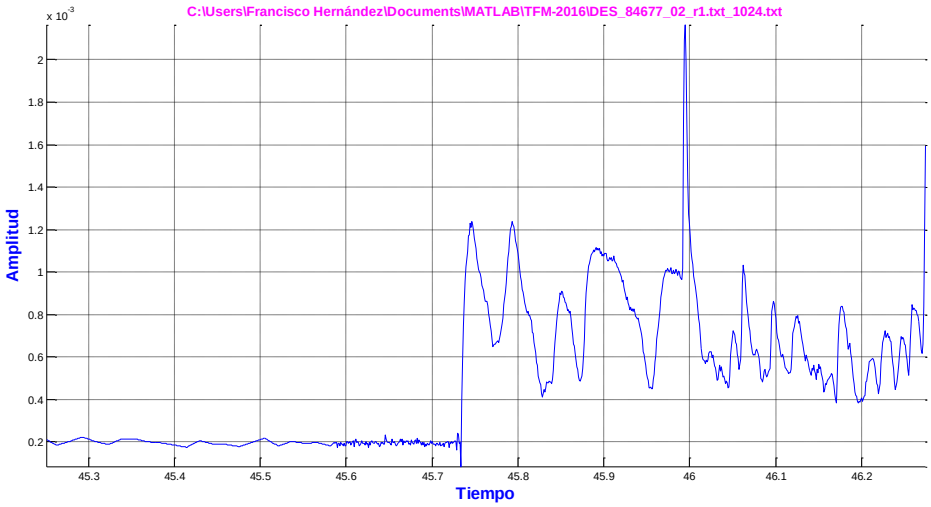


Figura 4.3. Resultados de las muestras después de aplicar el Criterio según el Factor de Outlier.

4.3. Criterio de la Máxima Pendiente Media frente al Factor de Outlier.

Inicialmente, las últimas 1.024 muestras previas al instante de la disrupción para la descarga 84677, vienen representadas mediante la siguiente gráfica, idéntica a Figura 4.1.



Su espectrograma correspondiente, que representa los valores de frecuencia con respecto al tiempo, viene dado en Figura 4.4.

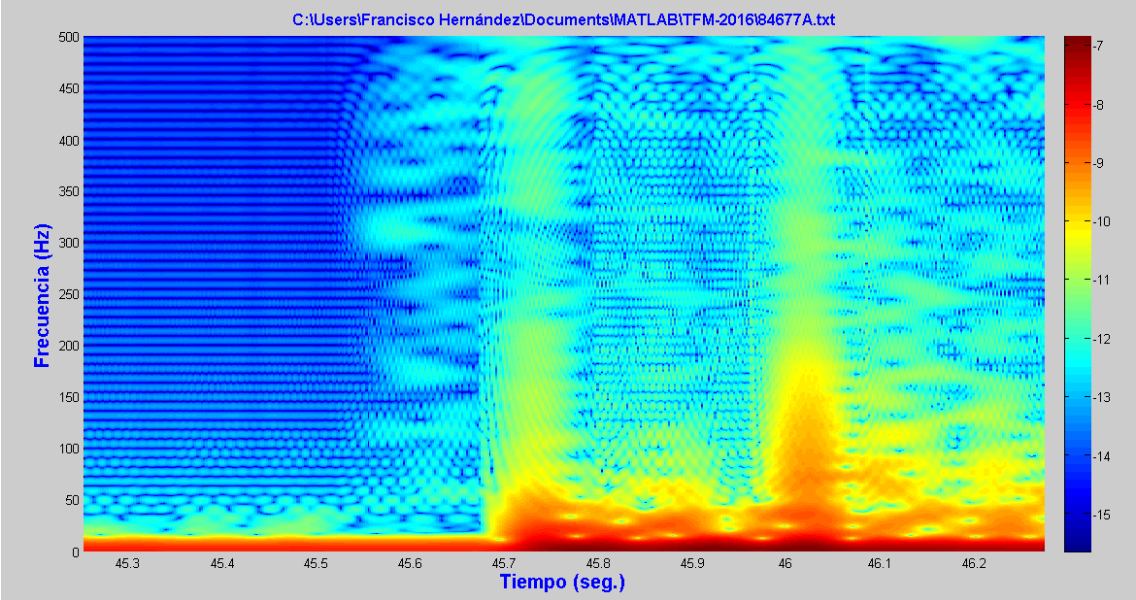
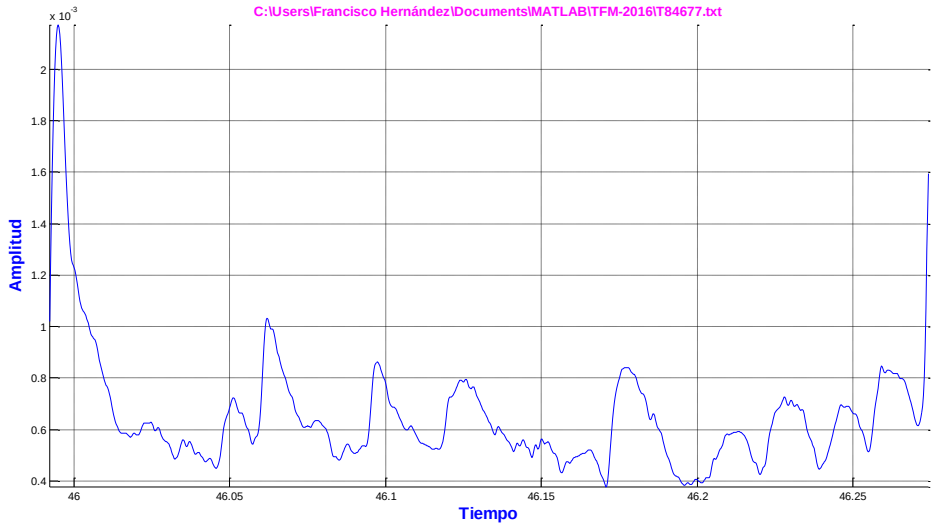


Figura 4.4. Espectrograma que representa las frecuencias instantáneas con respecto al tiempo para Figura 4.1.

Utilizando el Criterio de Máxima Pendiente Media, la función que se tratrará mediante el algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005], tendrá el siguiente aspecto (idéntico a Figura 4.2.)



Siendo su espectrograma asociado el que se muestra en Figura 4.5.

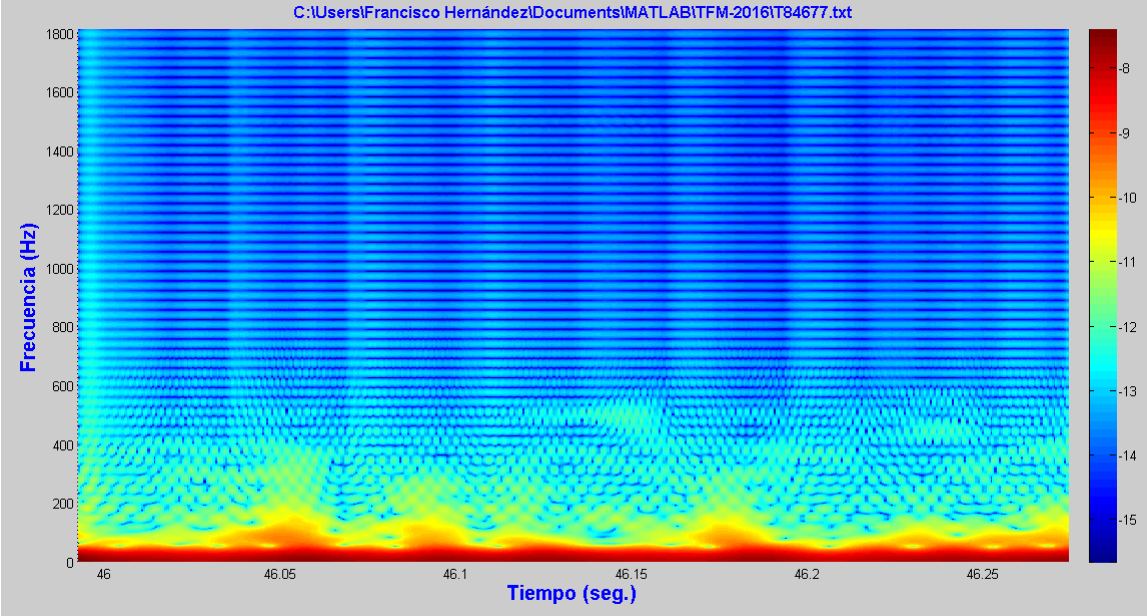
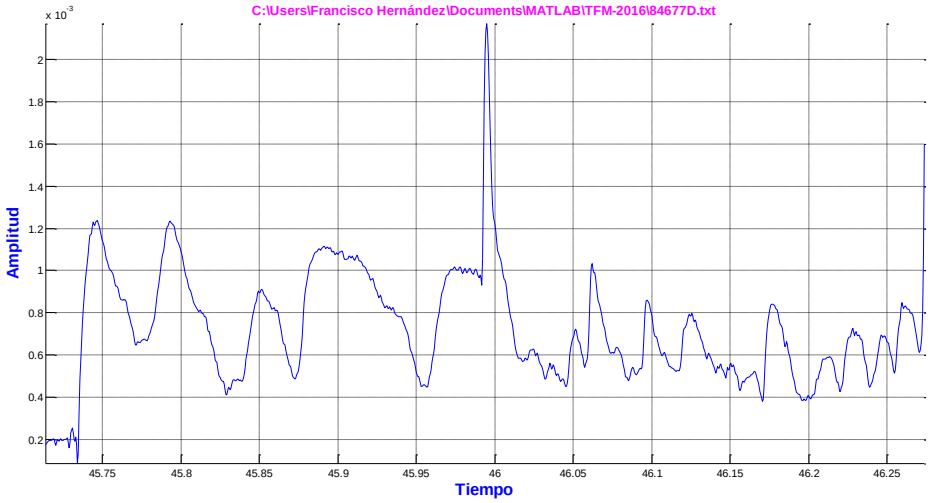


Figura 4.5. Espectrograma que representa las frecuencias instantáneas con respecto al tiempo para Figura 4.2.

Obtenida la máxima pendiente media, ésta se encuentra en un tramo que comprende cuatro intervalos; tomándose desde el instante t = 45,992072 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 46, 2740).

El hecho anterior supone que se tomen sólo los últimos 283 instantes de los 1.024 que teníamos inicialmente. Como hemos interpolado sobre esos 283 instantes hasta conseguir los 1.024 instantes, la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1.000 muestras/segundo a 3.631,2 muestras/segundo.

Mientras que, si utilizamos el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11], adopta la siguiente forma (idéntico a Figura 4.3.).



Ello se debe al instante en el que se rebasa el umbral de 6, para el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11]. Se muestra en Figura 4.6. la gráfica de dicho factor (coeficiente) con respecto al tiempo.

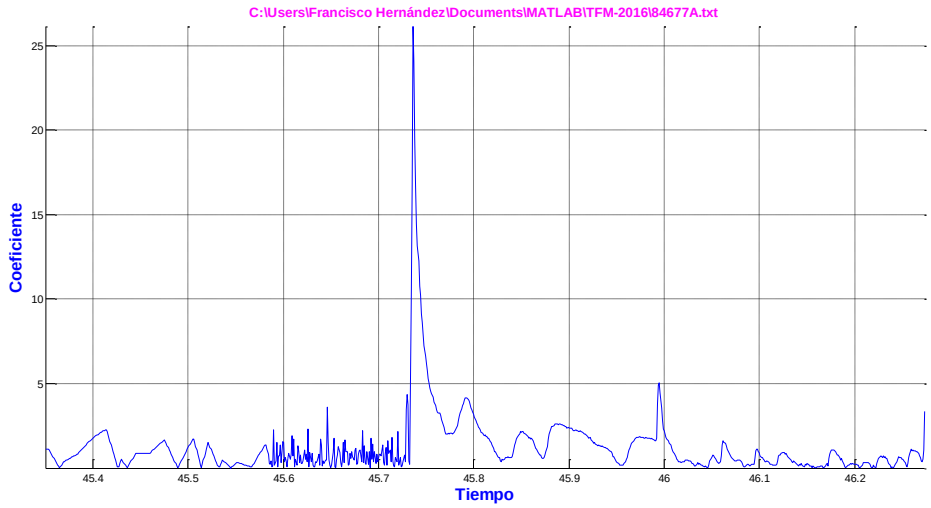


Figura 4.6. Representación del coeficiente del Factor de Outlier con respecto al tiempo de las 924 muestras de la señal Locked Mode, previas al instante de la disrupción, par la descarga experimental de JET 84677 de la campaña C3132.

El espectrograma asociado a la penúltima gráfica se muestra en Figura 4.7.

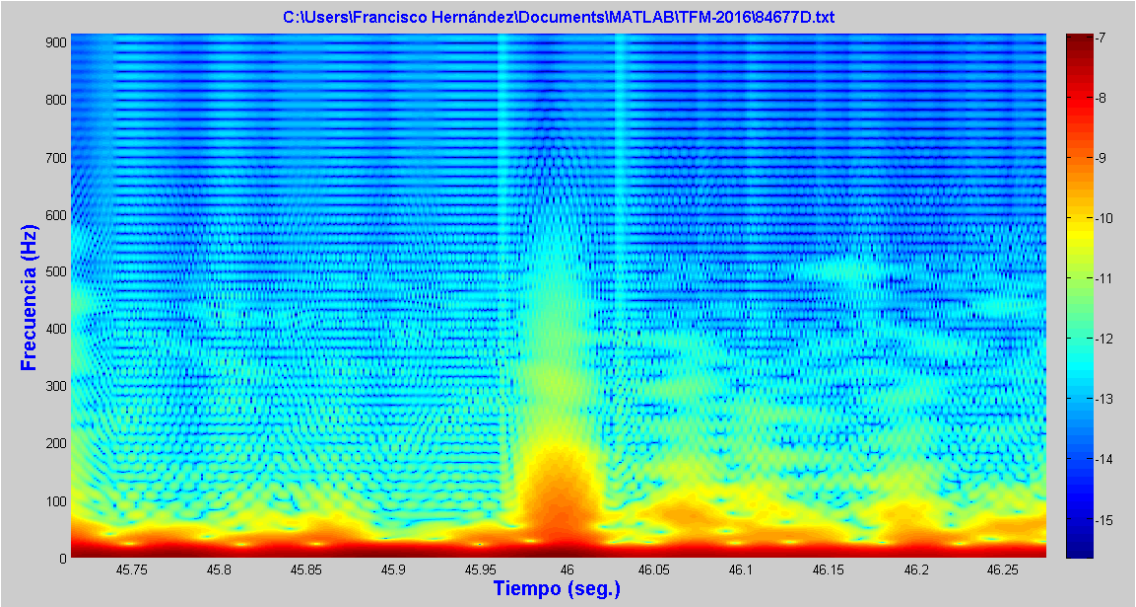


Figura 4.7. Espectrograma que representa las frecuencias instantáneas con respecto al tiempo para Figura 4.3.

Alcanzado o superado el valor de 6 para el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] y teniendo en cuenta 20 muestras anteriores a haber sido alcanzado; tomamos desde el instante t = 45,714072 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 46, 2740).

El hecho anterior supone que se tomen sólo los últimos 561 instantes de los 1.024 que teníamos inicialmente. Como hemos interpolado sobre esos 561 instantes hasta conseguir los 1.024 instantes, la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1.000 muestras/segundo a 1.828,6 muestras/segundo.

Por tanto, utilizando el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] estamos considerando un mayor rango temporal para observar el comportamiento de la señal.

Dado que los precursores de disrupciones se obtienen con más anticipación cuando se tratan mediante el Criterio del Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11], será esta alternativa la que sea seleccionada para el filtrado de datos. Ya que el conjunto de datos que entraría a la Descomposición de Modo Empírico [Norden 2005] aportaría mayor información para su posterior análisis.

5. Descomposición de Modo Empírico (EMD).

5.1. Proceso de Descomposición.

La Figura 5.1. ofrece una visión global del proceso de descomposición, una vez realizado el filtrado de datos.

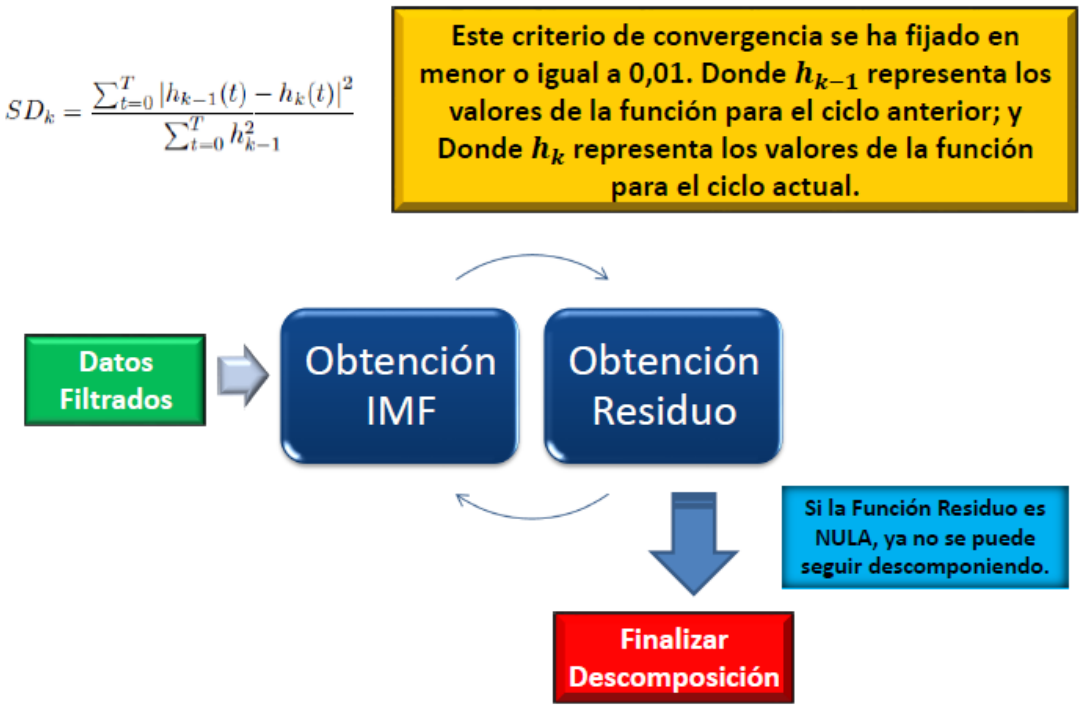


Figura 5.1. Visión global del proceso de Descomposición de Modo Empírico.

La **Descomposición de Modo Empírico** [Norden 2005], aunque será ilustrada mediante casos prácticos más adelante, si tenemos en cuenta las tareas posteriores al filtrado de datos (obtención de los precursores de disrupciones), se podría plasmar teóricamente de la siguiente manera:

> Dado un fichero que contiene los datos ya filtrados de la señal Locked Mode según el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11], se irá descomponiendo dicha función; de forma que resulten un conjunto de funciones de modo empírico [Norden 2005] y un residuo final. Para ello, se realizan las siguientes tareas generales:

- Selección del fichero que será utilizado para ser tratado.
- Lectura del fichero seleccionado, para obtener el conjunto de datos de entrada.
- Representación, en dos dimensiones, de la gráfica relacionada con los datos leídos.
- *Mientras el número de máximos o de mínimos para la curva sea mayor que la unidad:*
    - *Inicialización de los mecanismos que controlan el proceso de filtrado.* Consiste en lo siguiente:
        - Se fija con valor igual a infinito el criterio de convergencia de tipo Cauchy.
        - Se fija con valor igual a infinito la diferencia entre número de máximos y número de mínimos de la curva.
    - *Mientras el criterio de convergencia de tipo Cauchy sea superior a 0,01 o la diferencia entre el número de máximos y mínimos sea superior a la unidad*:
        - Obtener los conjuntos de máximos y mínimos de la curva.
        - Obtener la envolvente superior (relativa al conjunto de máximos anterior) e inferior (relativa al conjunto de mínimos anterior).
        - Obtener la media de las envolventes anteriores.
        - Obtener la función de Hilbert-Huang [Norden 2005] actualizada. Para ello, se tiene en cuenta la diferencia entre la función obtenida en el ciclo anterior y la media obtenida en el paso anterior.
        - Representación gráfica agrupada de los conceptos anteriores.
    - *Representación gráfica de la IMF (Función de Modo Intrínseco), resultante a la salida del bucle anterior.*
    - *Representación gráfica del residuo que aún queda después de obtener la IMF anterior.*

- Una vez llegados a la conclusión de que el proceso de filtrado ha finalizado (cuando el número de máximos o el número de mínimos es menor o igual que la unidad, y por tanto el residuo sea nulo):
    - Reconstrucción de la gráfica original, basándonos en las sucesivas IMF (funciones de modo intrínseco) obtenidas y en el último de los residuos encontrados.
    - Guardar en un fichero de texto los datos relativos a las distintas IMF's obtenidas, los datos del último residuo encontrado y la suma total de IMF's y residuo.
    - Representación gráfica de la evolución de los IMF's.
    - Representación gráfica de la evolución de los residuos, una vez obtenida cada IMF.
- Finalizado el proceso representado por el algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005] para todas las descargas con Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] mayor o igual que 6 se pasaría, a continuación, a las tareas de clasificación.

Nota: *Para no sobrecargar en exceso la sección de Descomposición de Modo Empírico (EMD), y dado que se explican detalladamente los procesos y gráficas que se van mostrando en cada momento; se prescindirá en el resto de esta sección de la identificación en los pies, que contiene cada una de las figuras o gráficas.*

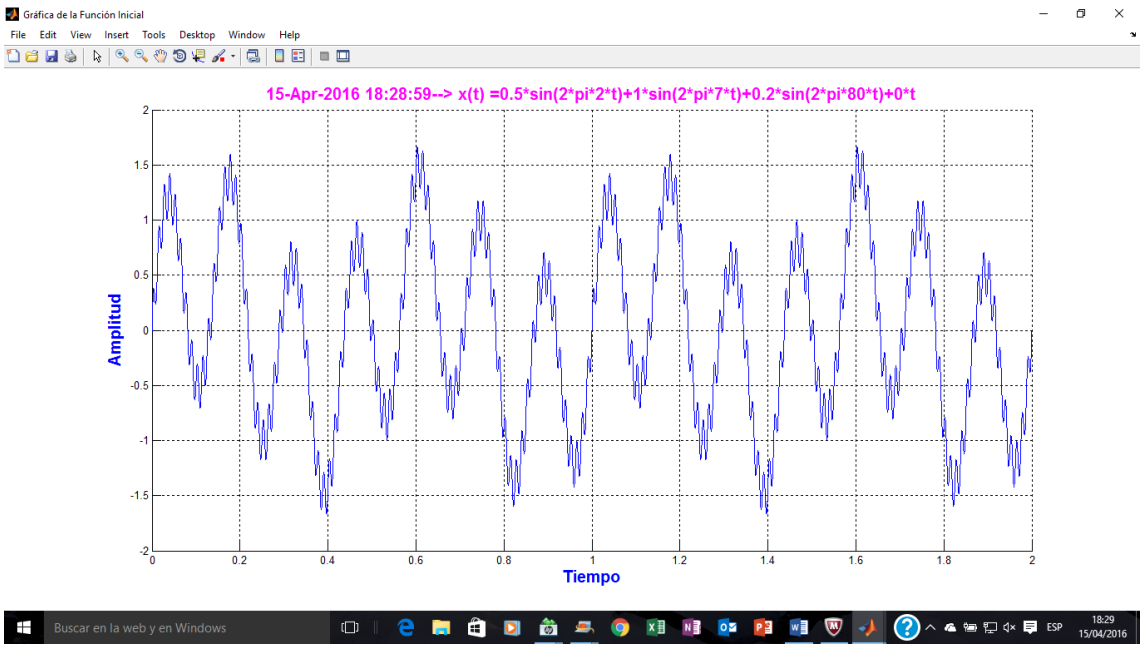
5.2. Introducción de casos simples.

Antes de entrar en materia con el análisis de la aplicación, serán evaluadas una serie de funciones que ponen de manifiesto el comportamiento de la aplicación según una serie de amplitudes y frecuencias conocidas, y sobre un intervalo temporal conocido. Considerando, además, una frecuencia de muestreo de 20.000 muestras / segundo.

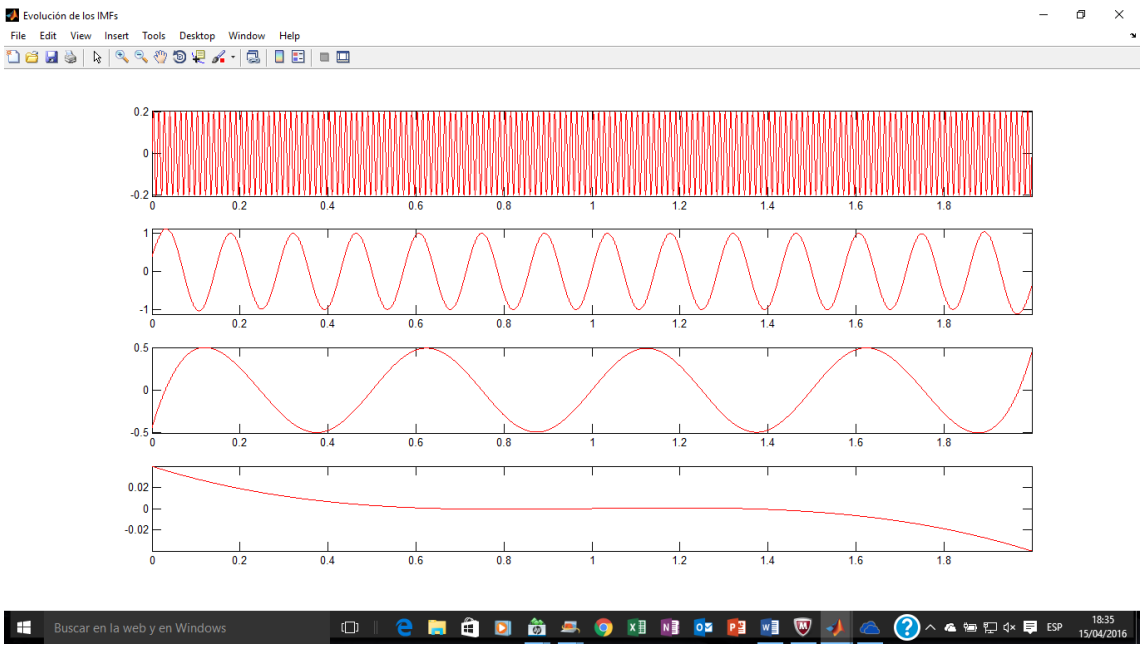
Caso 1.

Amplitud	Frecuencia
0,5	**2**
1	**7**
0,2	**80**
0	

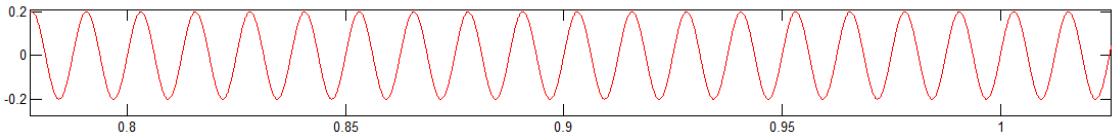
El aspecto que presenta la función, en el intervalo temporal [0, 2) es el siguiente:



Como resultado, la aplicación devuelve el siguiente conjunto de IMF's:



Como se puede observar, las IMF's (Funciones de Modo Intrínseco) obtenidas corresponden a las frecuencias iniciales de la función original, y ordenadas de mayor a menor frecuencia. Dado que resulta un tanto difícil el conteo para la primera de las IMF's, tomaremos el tramo comprendido entre el instante t = 0,8 segundos y t = 1,0 segundos, y lo ampliaremos.

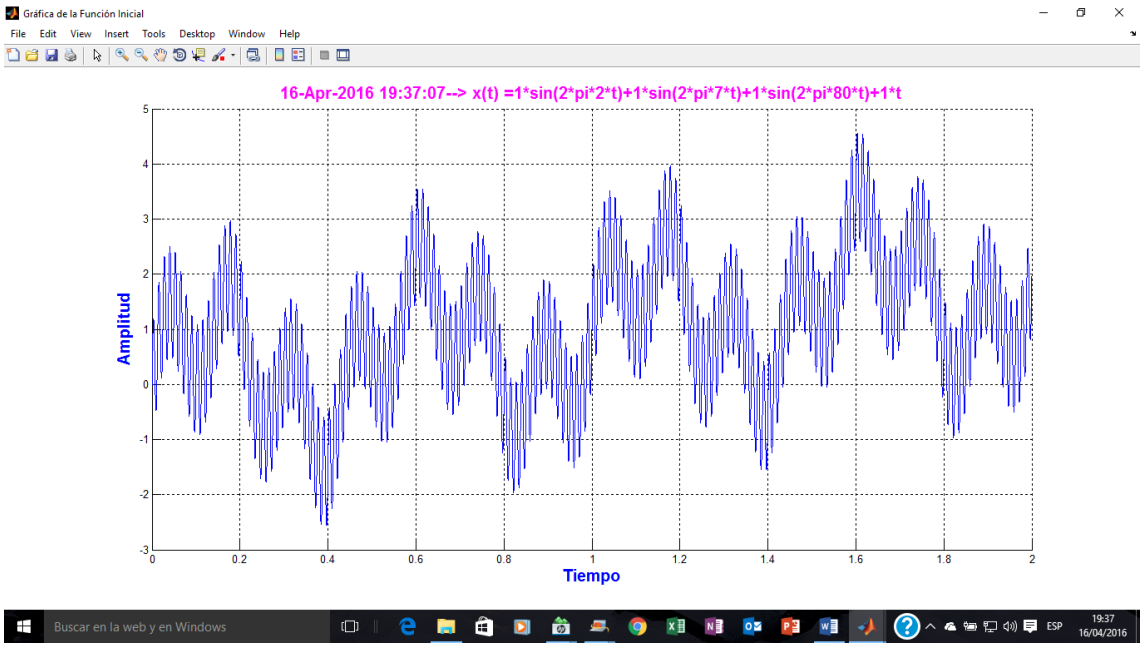


A la vista de la sección de gráfica anterior, observamos que entre t = 0,8 segundos y t = 1,0 segundos, se obtiene una frecuencia igual a 16. Como ese intervalo temporal seleccionado representa 1/5 de segundo, implica que para un segundo se obtiene una frecuencia de 16 * 5 = 80; tal y como cabía esperar.

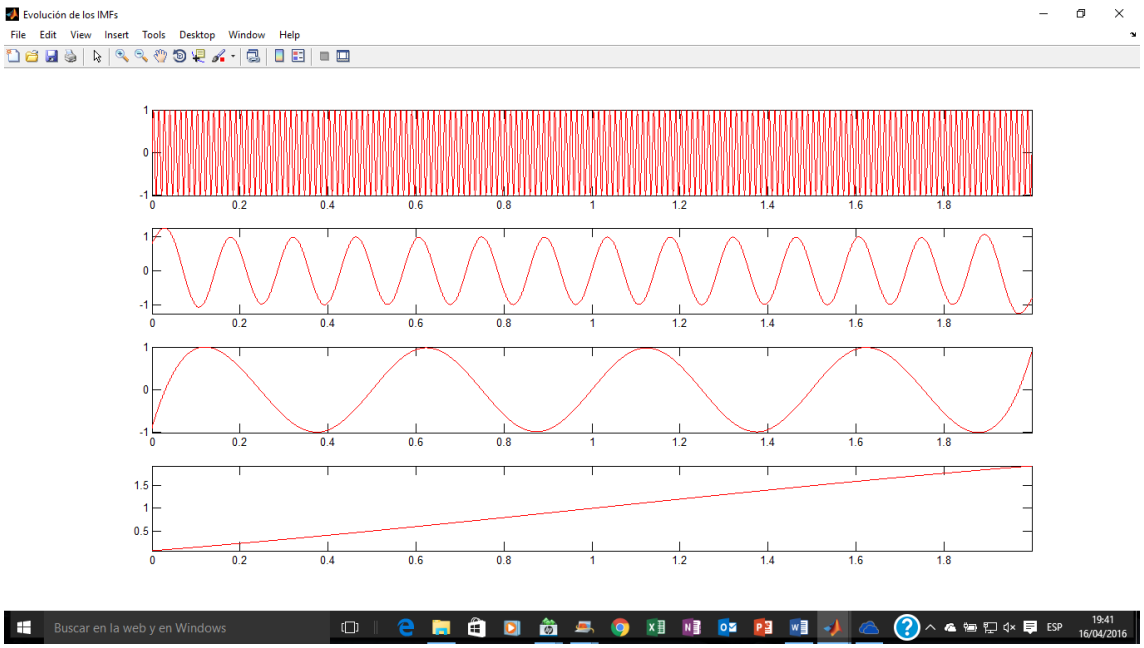
Caso 2.

Amplitud	Frecuencia
1	**2**
1	**7**
1	**80**
1	

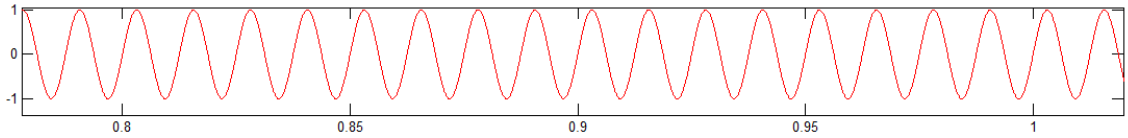
El aspecto que presenta la función, en el intervalo temporal [0, 2) es el siguiente:



Como resultado, la aplicación devuelve el siguiente conjunto de IMF's:



Al igual que en el caso anterior, se pueden observar que las IMF's (Funciones de Modo Intrínseco) obtenidas corresponden a las frecuencias iniciales de la función original, y ordenadas de mayor a menor frecuencia. Dado que resulta un tanto difícil el conteo para la primera de las IMF's, tomaremos el tramo comprendido entre el instante t = 0,8 segundos y t = 1,0 segundos, y lo ampliaremos.

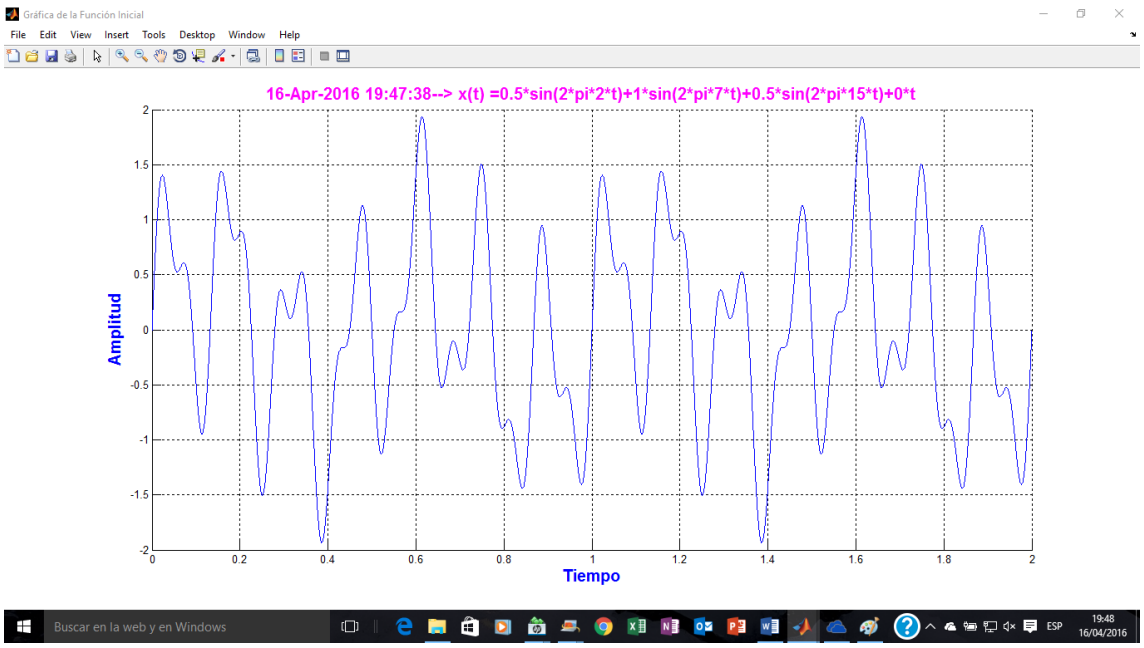


A la vista de la sección de gráfica anterior, observamos que entre t = 0,8 segundos y t = 1,0 segundos, se obtiene una frecuencia igual a 16. Como ese intervalo temporal seleccionado representa 1/5 de segundo, implica que para un segundo se obtiene una frecuencia de 16 * 5 = 80; tal y como cabía esperar.

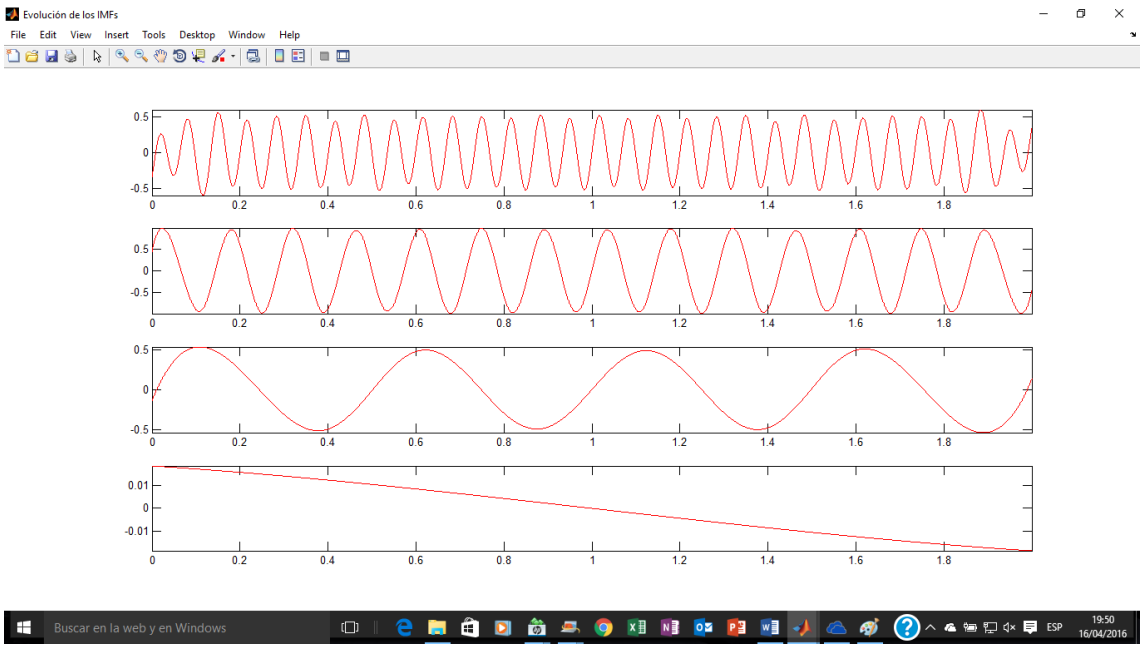
Caso 3.

Amplitud	Frecuencia
0,5	**2**
1	**7**
0,5	**15**
0	

El aspecto que presenta la función, en el intervalo temporal [0, 2) es el siguiente:



Como resultado, la aplicación devuelve el siguiente conjunto de IMF's:

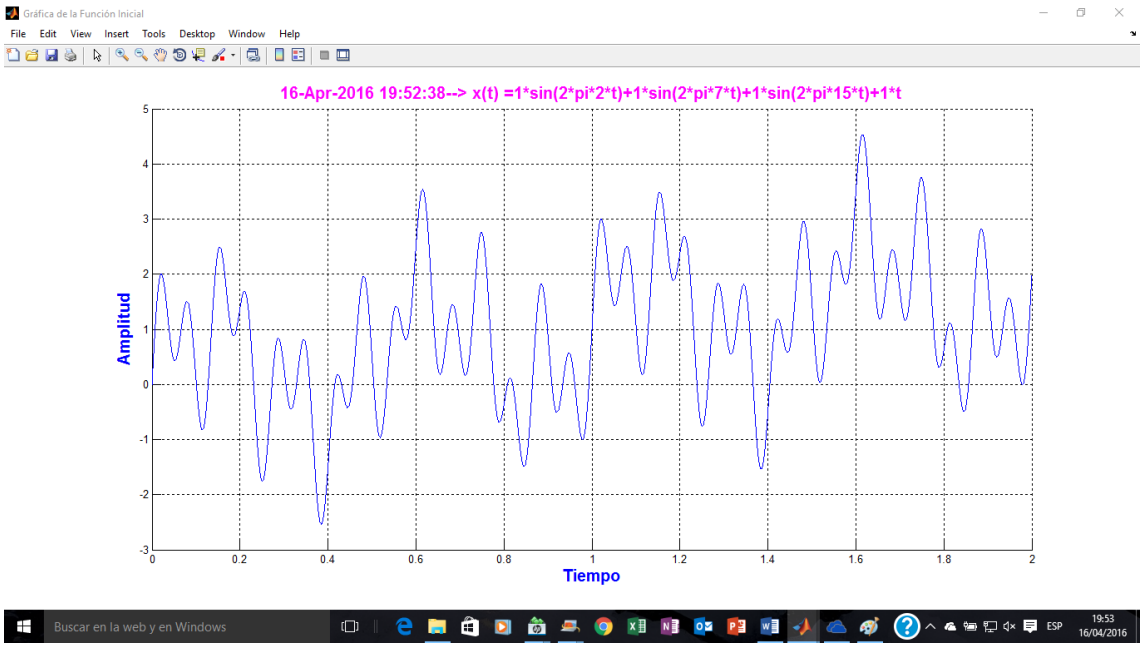


Como se puede observar, las IMF's (Funciones de Modo Intrínseco) obtenidas corresponden a las frecuencias iniciales de la función original, y ordenadas de mayor a menor frecuencia.

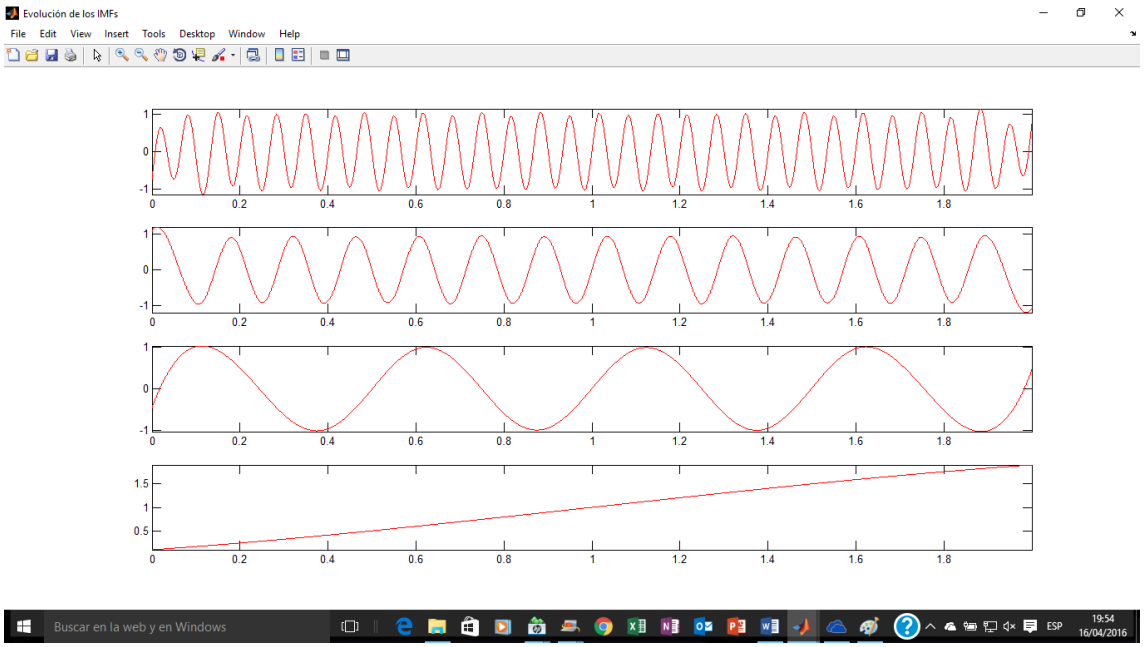
Caso 4.

Amplitud	Frecuencia
1	**2**
1	**7**
1	**15**
1	

El aspecto que presenta la función, en el intervalo temporal [0, 2) es el siguiente:



Como resultado, la aplicación devuelve el siguiente conjunto de IMF's:

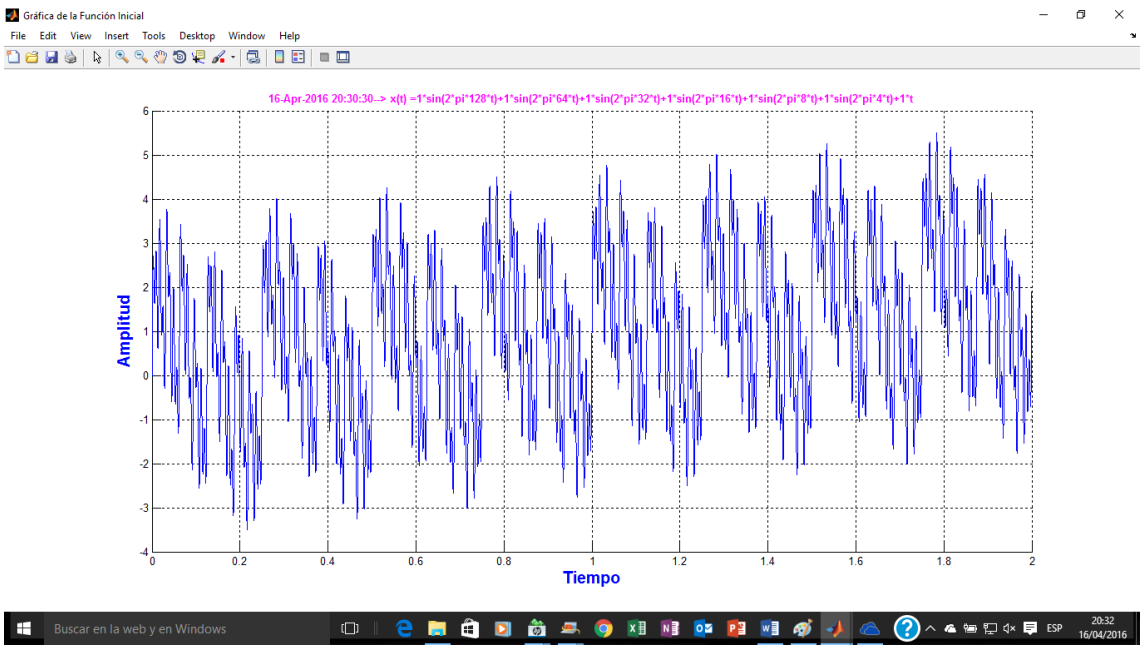


Como se puede observar, las IMF's (Funciones de Modo Intrínseco) obtenidas corresponden a las frecuencias iniciales de la función original, y ordenadas de mayor a menor frecuencia.

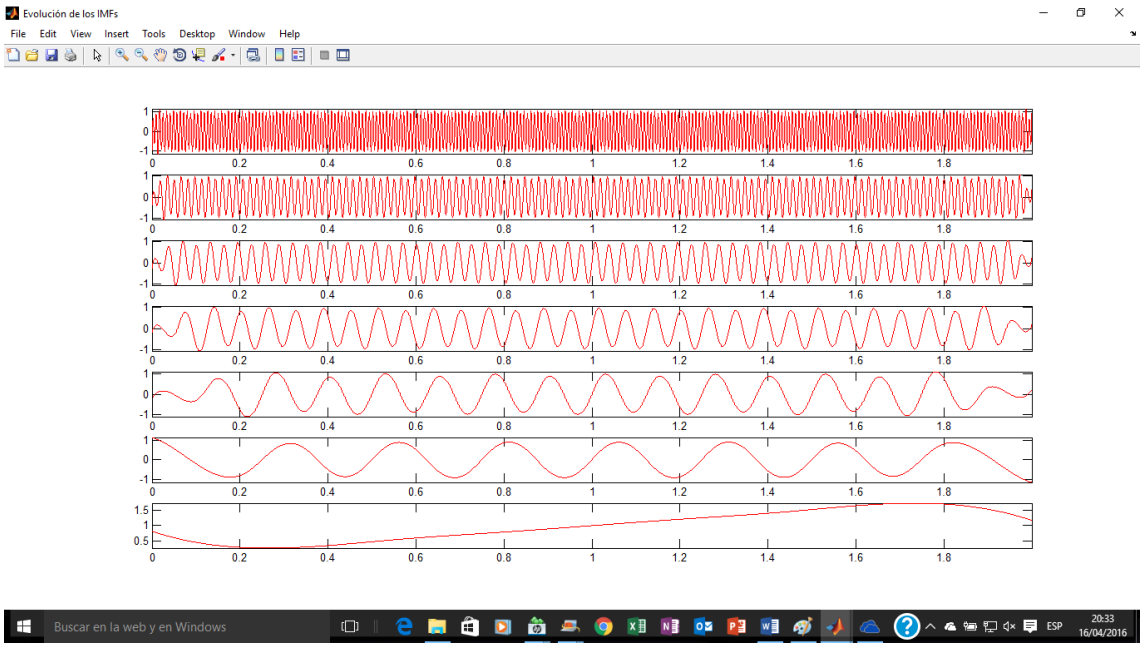
Caso 5.

Amplitud	Frecuencia
1	**128**
1	**64**
1	**32**
1	**16**
1	**8**
1	**4**
1	

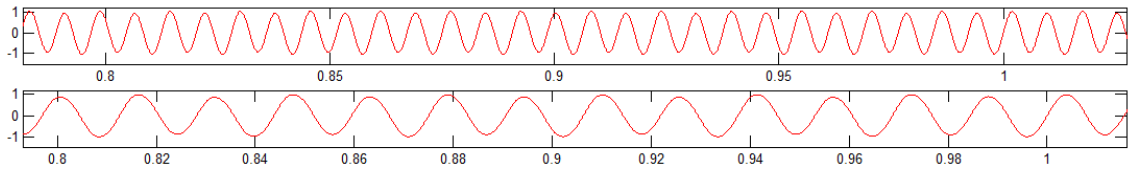
El aspecto que presenta la función, en el intervalo temporal [0, 2) es el siguiente:



Como resultado, la aplicación devuelve el siguiente conjunto de IMF's:



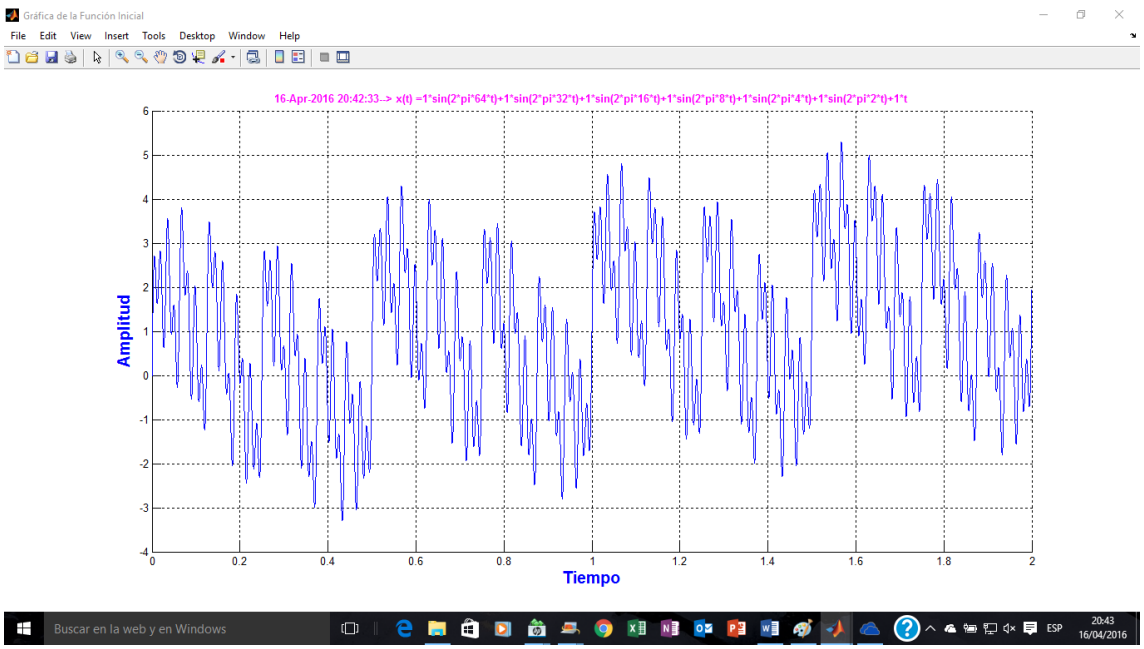
La IMF obtenida de mayor frecuencia se corresponde con la de frecuencia 128 y la segunda IMF con la de frecuencia 64. A continuación, se muestra ampliada la sección de las mismas, comprendida entre los instantes t = 0,8 seguntos y t = 1 segundo. De esta forma, se observa que las IMF's obtenidas responden a las frecuencias que definen la función original.



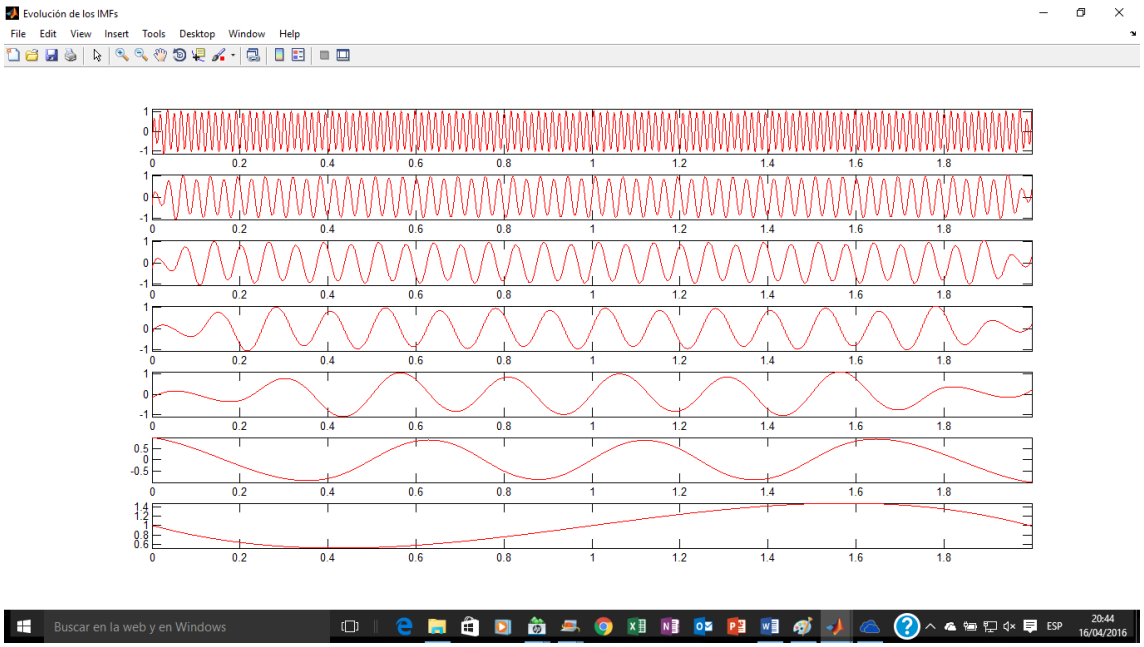
Caso 6.

Amplitud	Frecuencia
1	**64**
1	**32**
1	**16**
1	**8**
1	**4**
1	**2**
1	

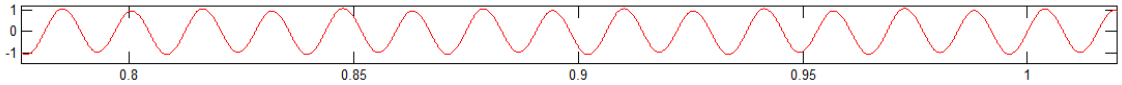
El aspecto que presenta la función, en el intervalo temporal [0, 2) es el siguiente:



Como resultado, la aplicación devuelve el siguiente conjunto de IMF's:



La IMF obtenida de mayor frecuencia se corresponde con la de frecuencia 64. Para mayor claridad, se muestra una sección ampliada.

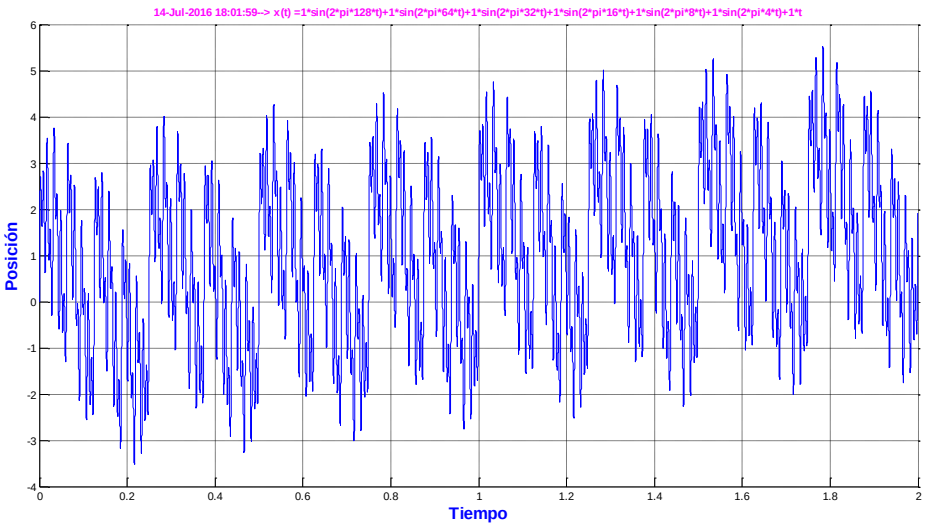


5.3. Descripción detallada de la Descomposición de Modo Empírico (EMD).

A modo de ilustración, se presenta a continuación el comportamiento que ofrece la aplicación, para uno de los casos vistos con frecuencias conocidas:

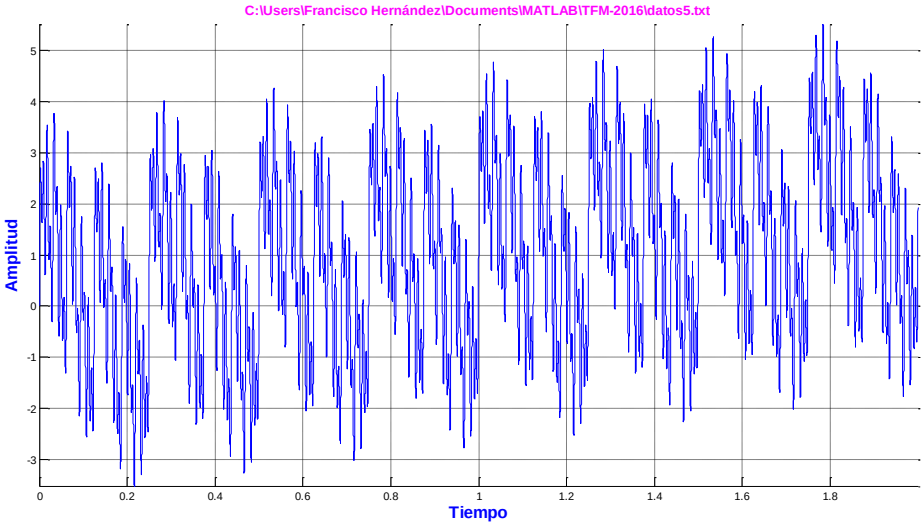
Amplitud	Frecuencia
1	**128**
1	**64**
1	**32**
1	**16**
1	**8**
1	**4**
1	

El aspecto que presenta la función, en el intervalo temporal [0, 2) es el siguiente:

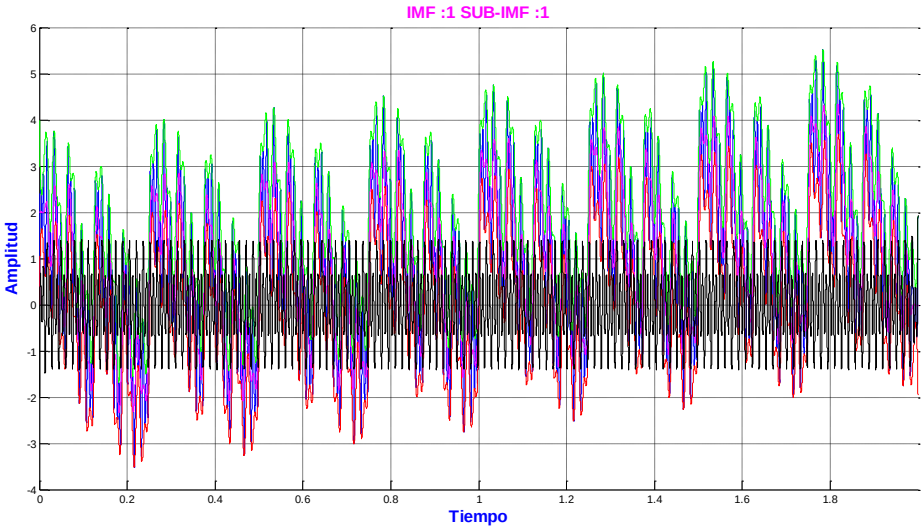


Como resultado, la aplicación desarrollada paso a paso, presenta la siguiente secuencia de acciones. Al iniciar la ejecución de la función HH (nombre de la función Matlab

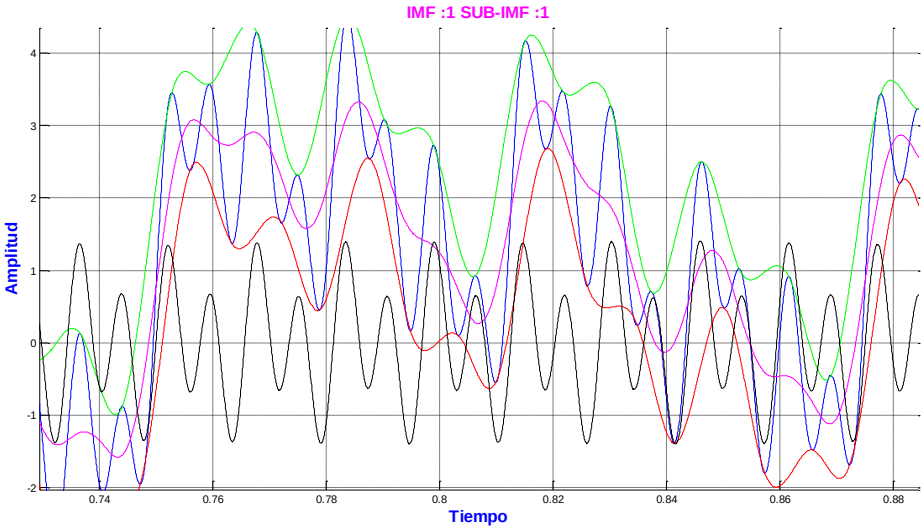
principal), la aplicación solicita el nombre del fichero de datos a partir del cual se va a efectuar la descomposición empírica. En nuestro caso, tomaremos el fichero datos5.txt, que es el que contiene los datos que son objeto del análisis actual. Como primera acción, la aplicación muestra la gráfica de los datos de partida:



Continua con la primera de las iteraciones para la obtención de la primera función de modo intrínseco (IMF):

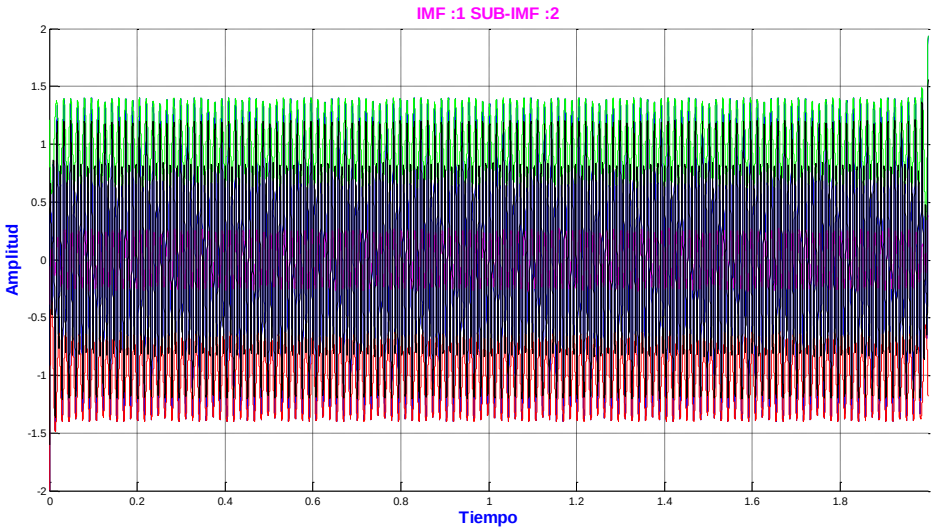


Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:

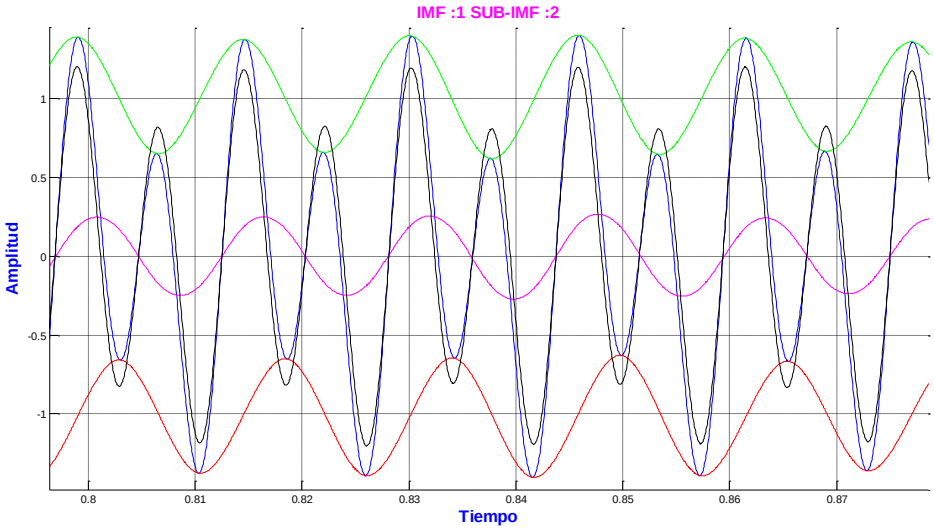


Donde se representa la función de partida (en azul), la envolvente superior (en verde), la envolvente inferior (en rojo), la media de las envolventes (en magenta), y el resultado de la función de partida menos la media de las envolventes (en negro).

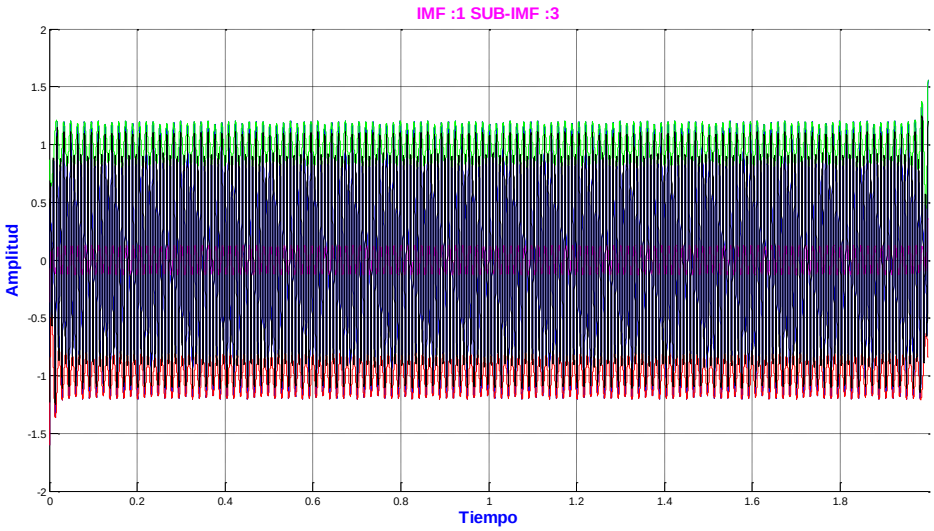
Continua con la segunda de las iteraciones para la obtención de la primera función de modo intrínseco (IMF):



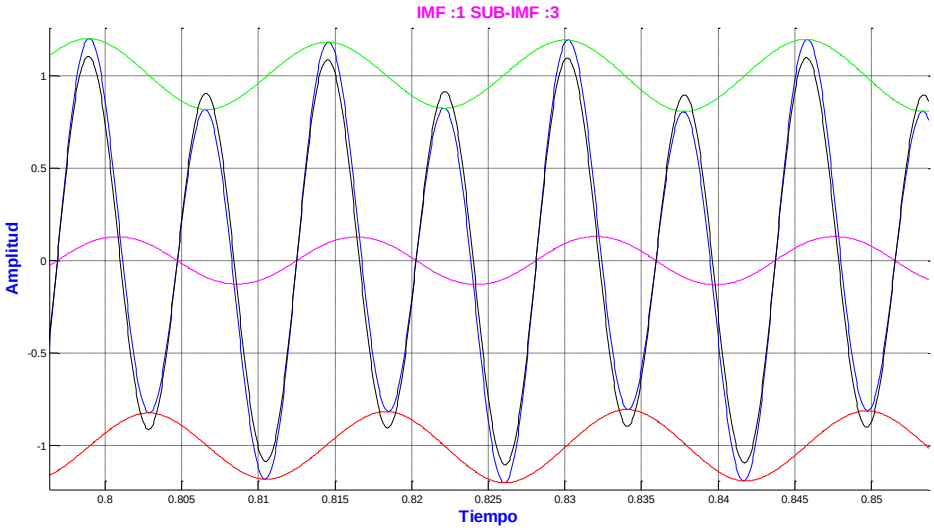
Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:



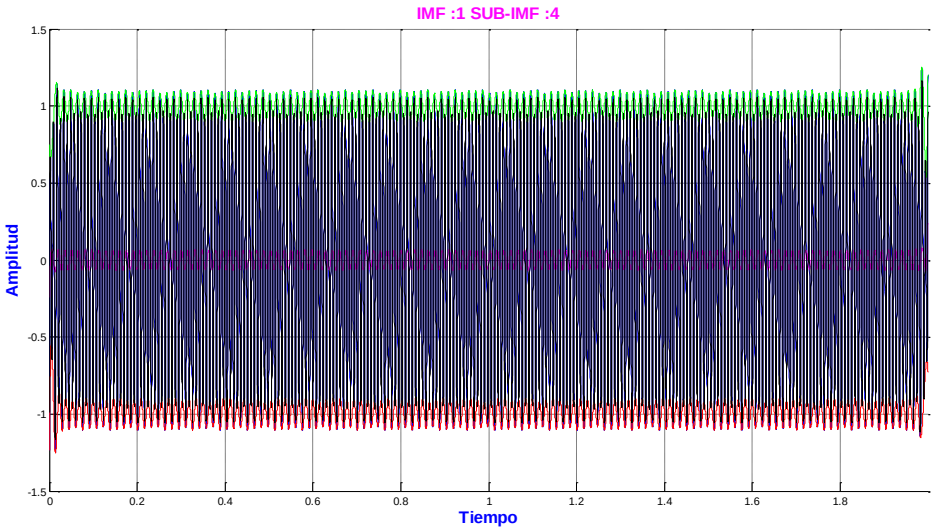
Continua con la tercera de las iteraciones para la obtención de la primera función de modo intrínseco (IMF):



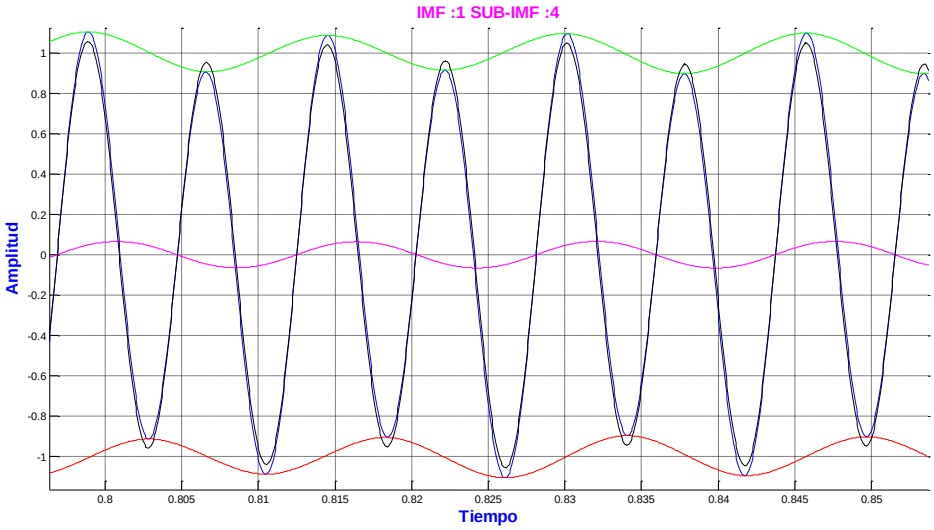
Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:



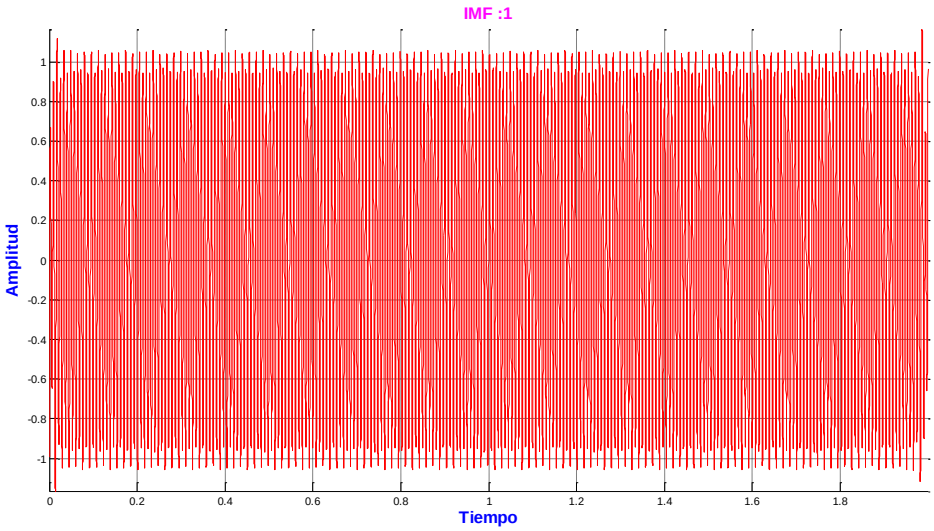
Continua con la cuarta de las iteraciones para la obtención de la primera función de modo intrínseco (IMF):



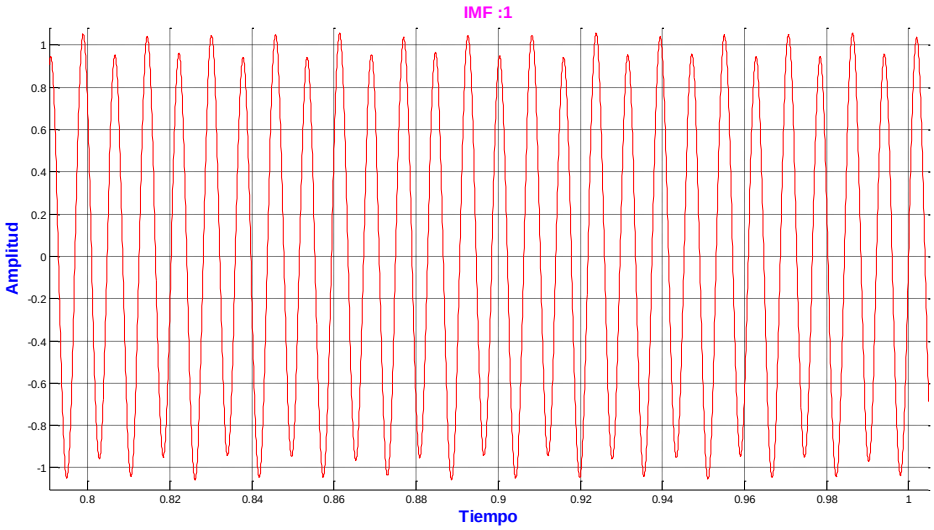
Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:



Como se ha llegado al criterio de convergencia para la obtención de la primera IMF, finalizan las iteraciones que buscan dicha IMF, siendo ésta presentada:

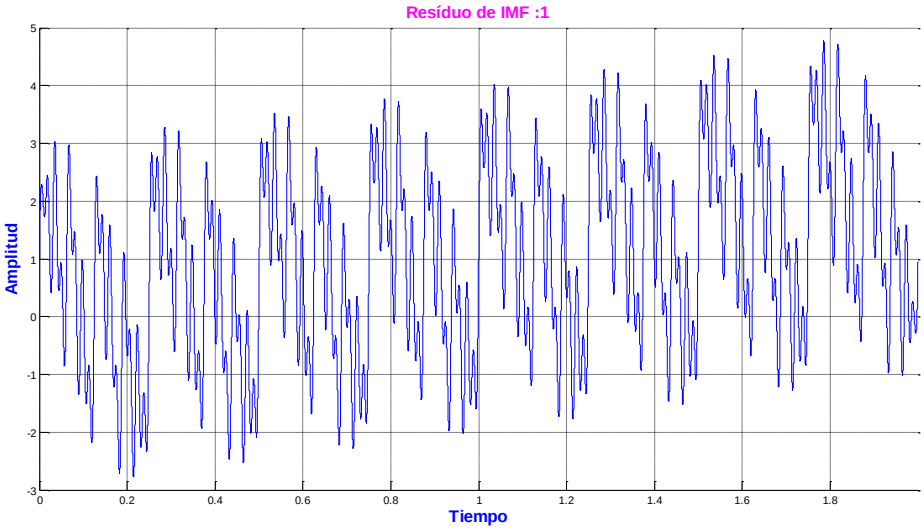


Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la misma:

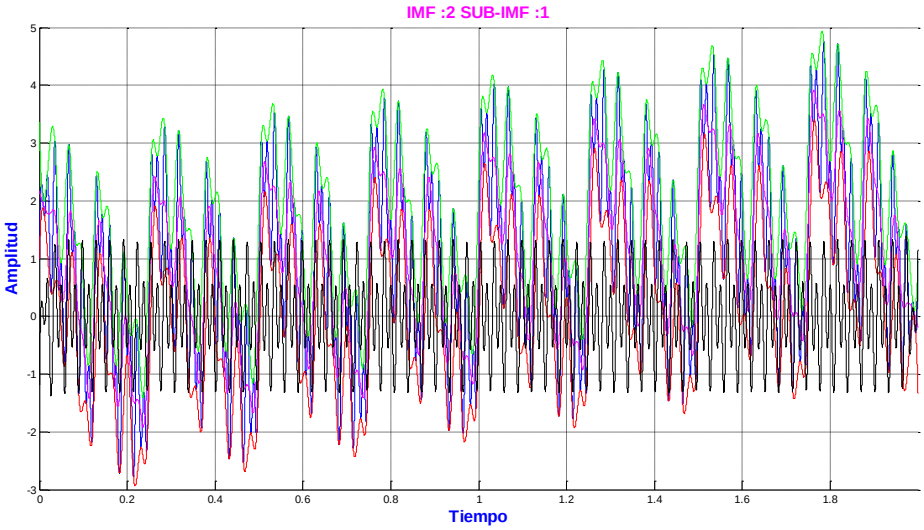


En esta sección mostrada, que representa 1/5 de un segundo, aparece una frecuenca de 26; lo que supone que al multiplicar por 5, se obtendría una frecuencia de 130 Hz. Pero ha de tenerse en cuenta que en otras dos de las restantes 4 secciones que componen dicho segundo, la frecuencia no es de 26 sino de 25. Lo que completa el total de los 128 Hz de la frecuencia mayor.

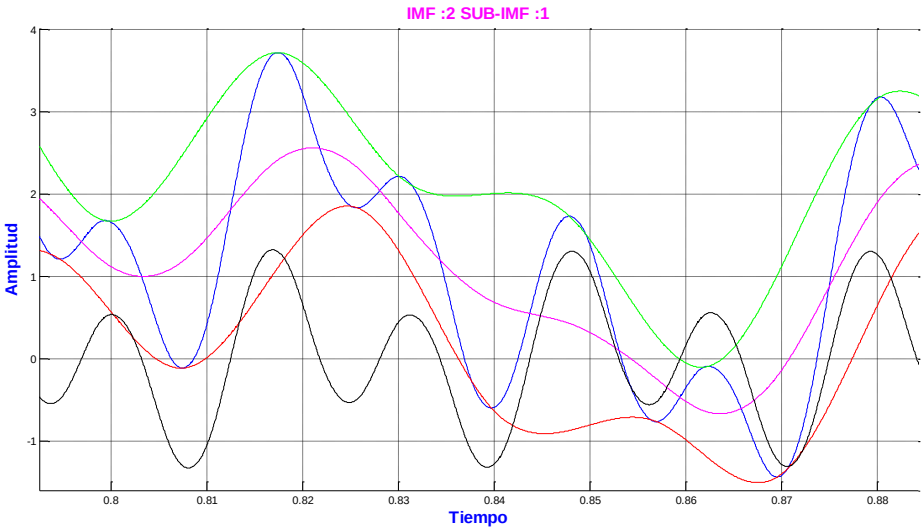
Obtenida la primera IMF, su residuo resultante será:



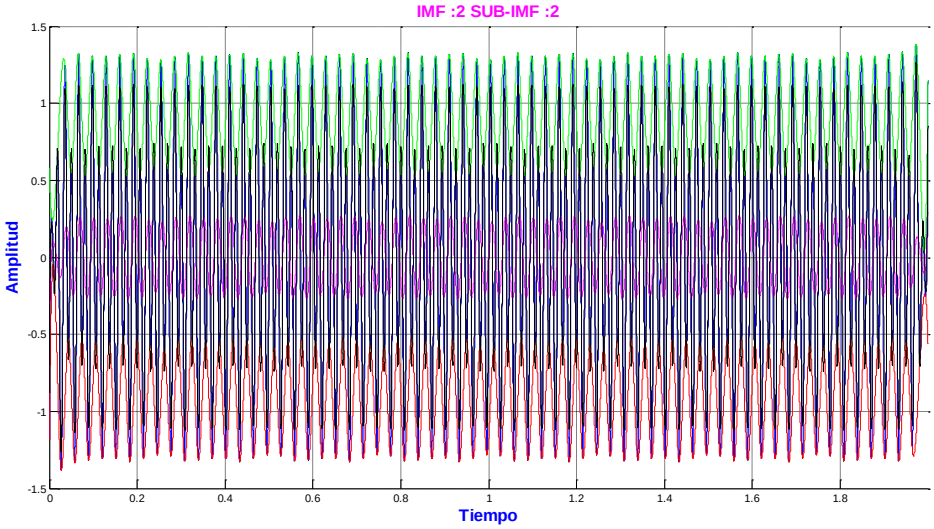
Que constituirá el punto de partida para la obtención de la segunda IMF. La primera de las iteraciones para la obtención de esa segunda IMF dará como resultado:



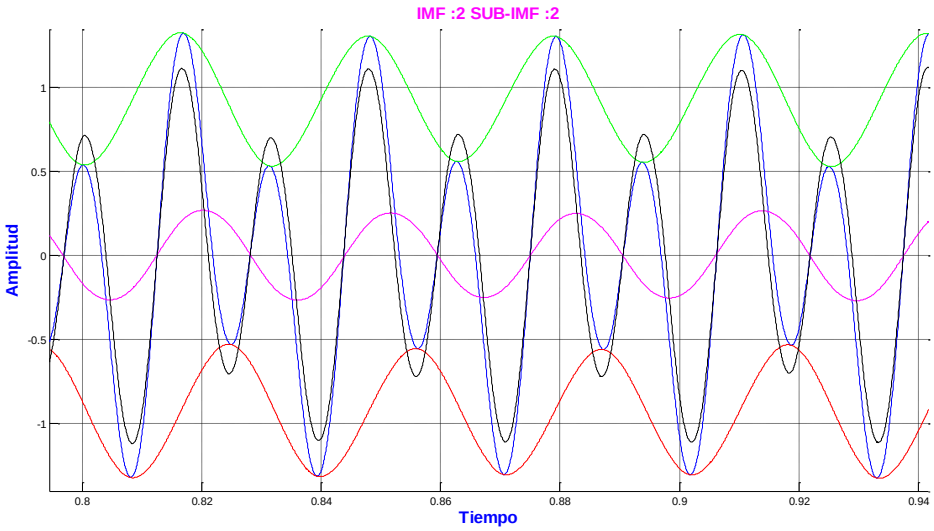
Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:



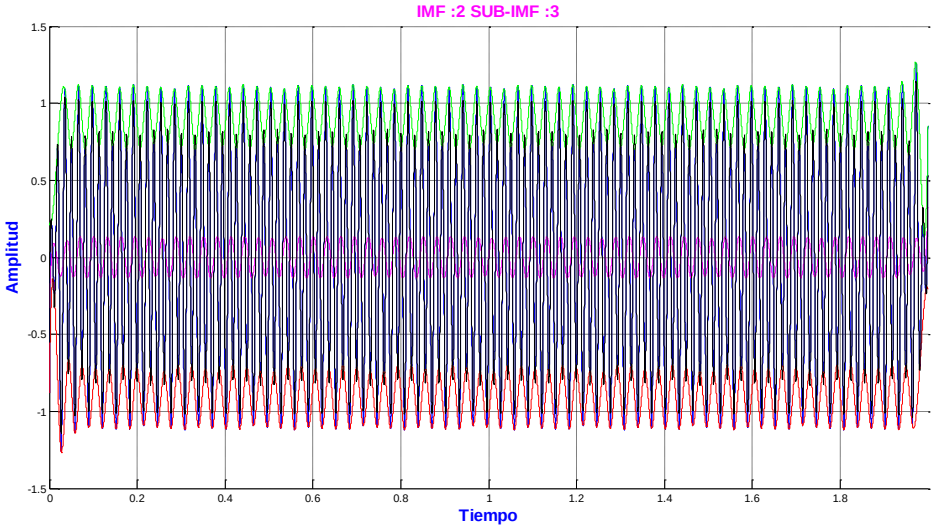
Continua con la segunda de las iteraciones para la obtención de la segunda IMF:



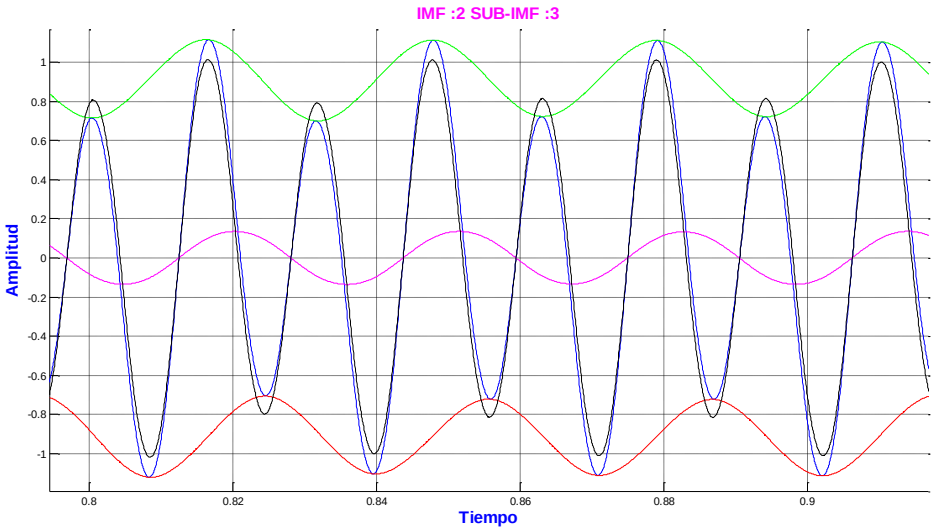
Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:



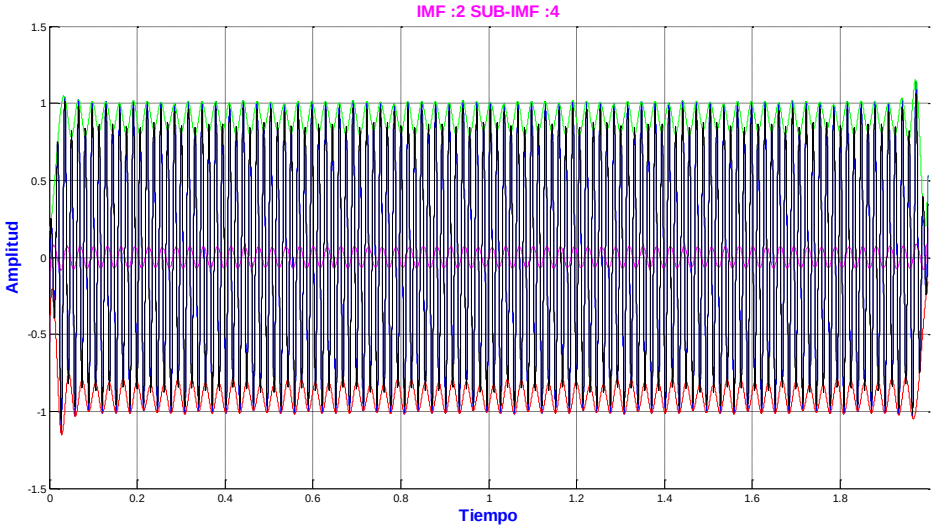
Continua con la tercera de las iteraciones para la obtención de la segunda IMF:



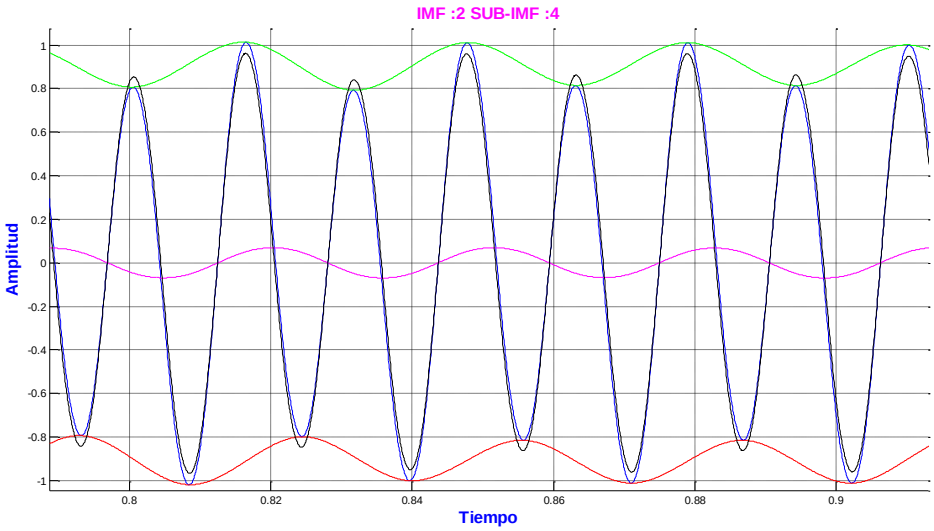
Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:



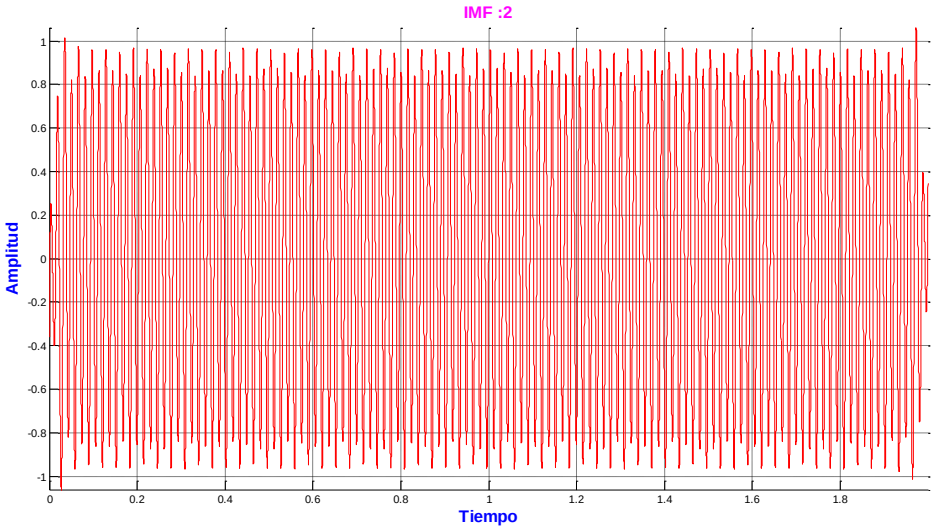
Continua con la cuarta de las iteraciones para la obtención de la segunda IMF:



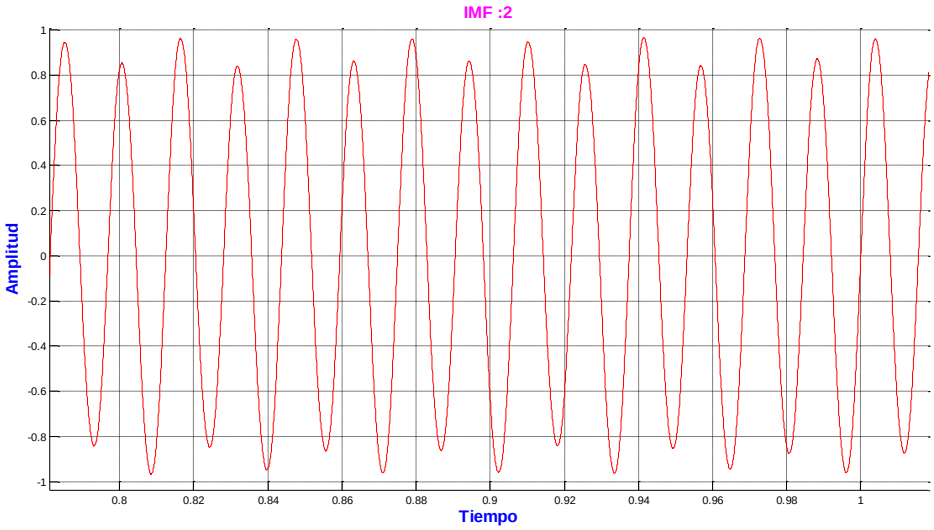
Para observar un mayor detalle, se muestra a continuación, una sección de la gráfica anterior:



Como se ha llegado al criterio de convergencia para la obtención de la segunda IMF, finalizan las iteraciones que buscan dicha IMF, siendo ésta presentada:

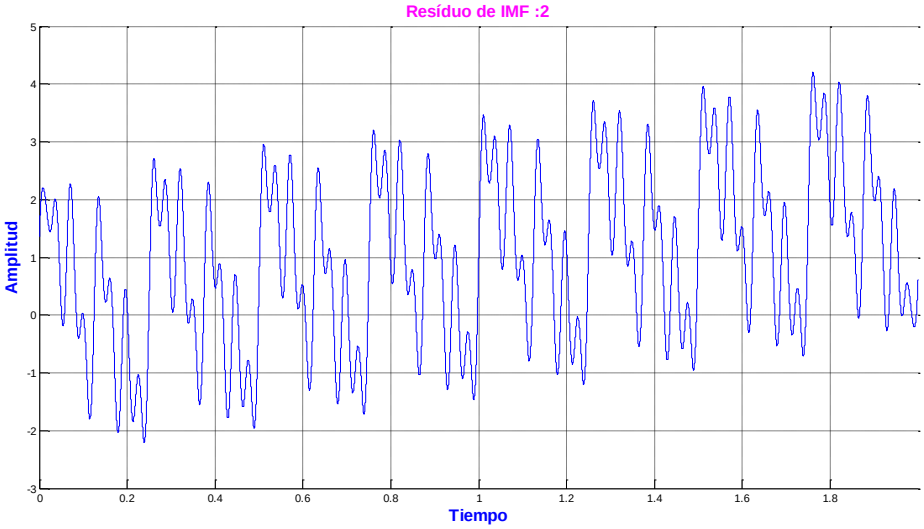


Observando con mayor detalle, se tiene que:

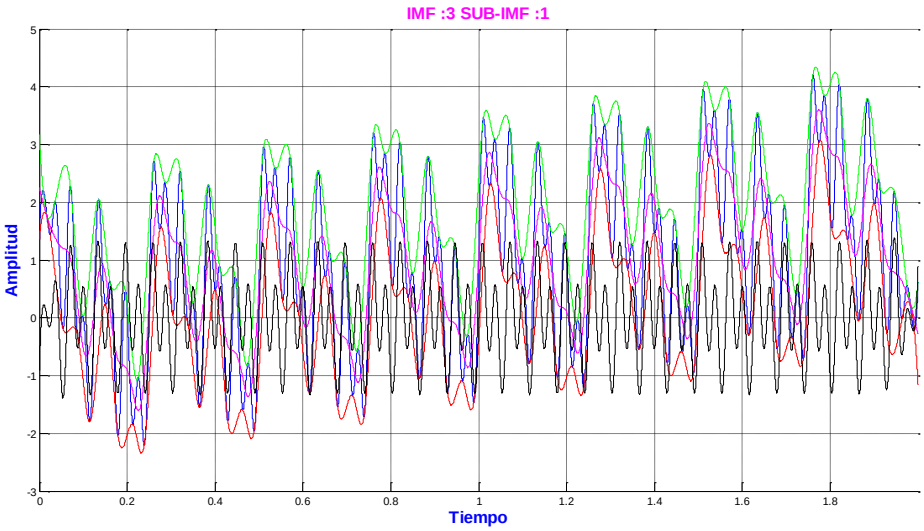


En esta sección mostrada, que representa 1/5 de un segundo, aparece una frecuenca de 13; lo que supone que al multiplicar por 5, se obtendría una frecuencia de 65 Hz. Pero ha de tenerse en cuenta que en otra sección de las restantes 4 secciones que componen dicho segundo, la frecuencia no es de 13 sino de 12. Lo que completa el total de los 64 Hz de la siguiente frecuencia mayor.

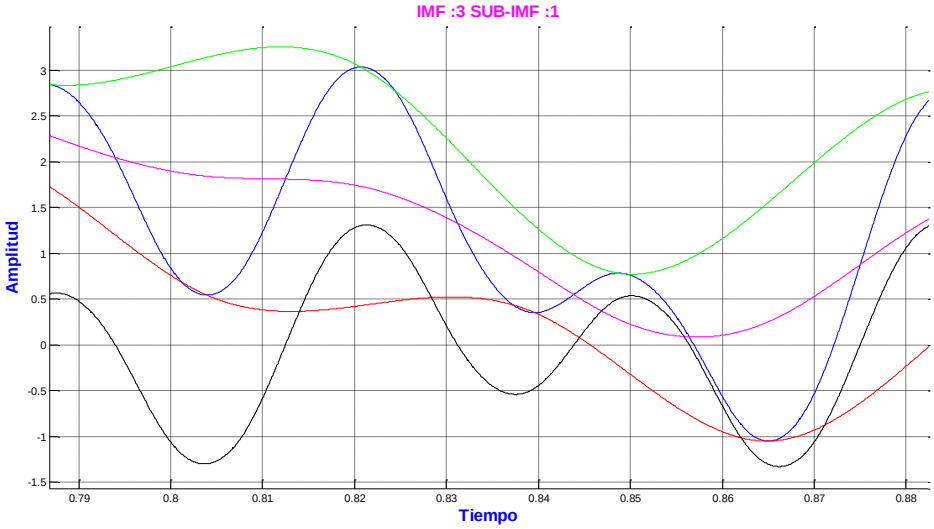
Obtenida la segunda IMF, su residuo resultante será:



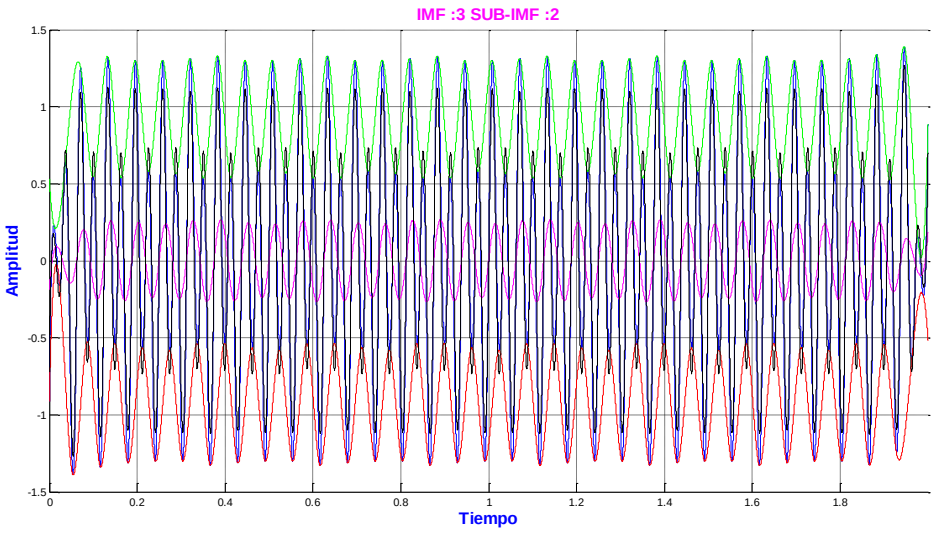
Que constituirá el punto de partida para la obtención de la tercera IMF. La primera de las iteraciones para la obtención de esa tercera IMF dará como resultado:



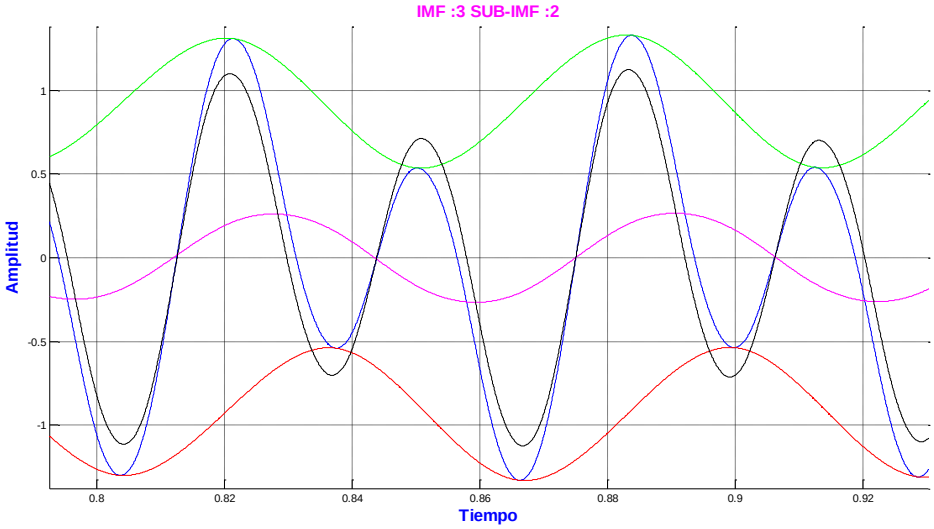
Observando la misma con mayor detalle:



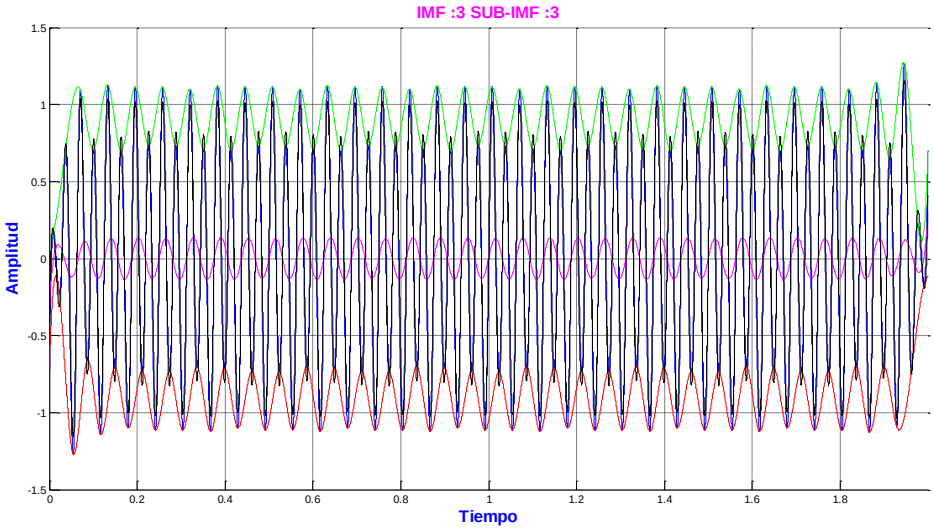
Continua con la segunda de las iteraciones para la obtención de la tercera IMF:



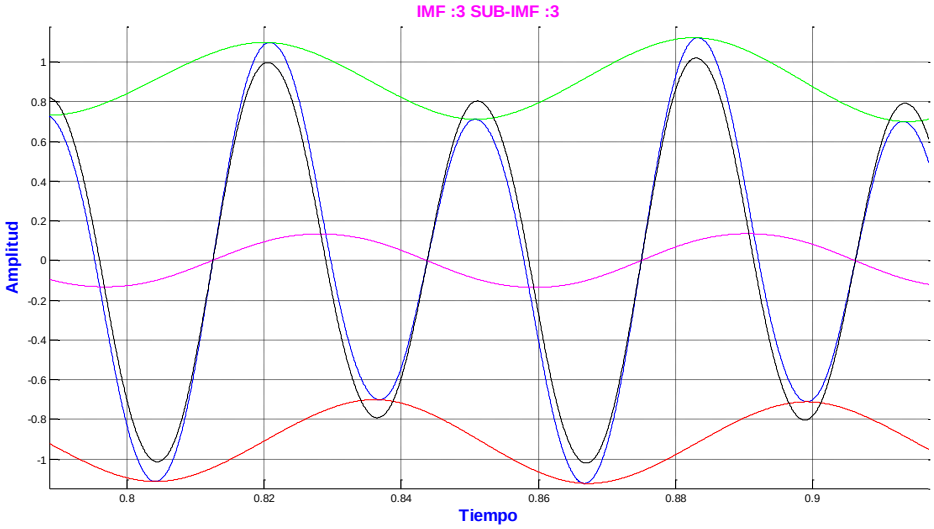
Con un mayor detalle, se puede observar:



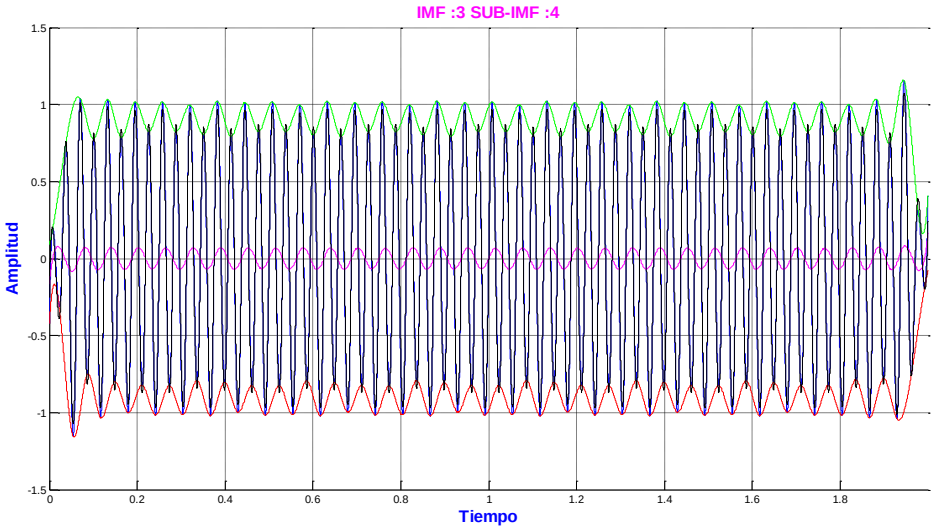
Continua con la tercera de las iteraciones para la obtención de la tercera IMF:



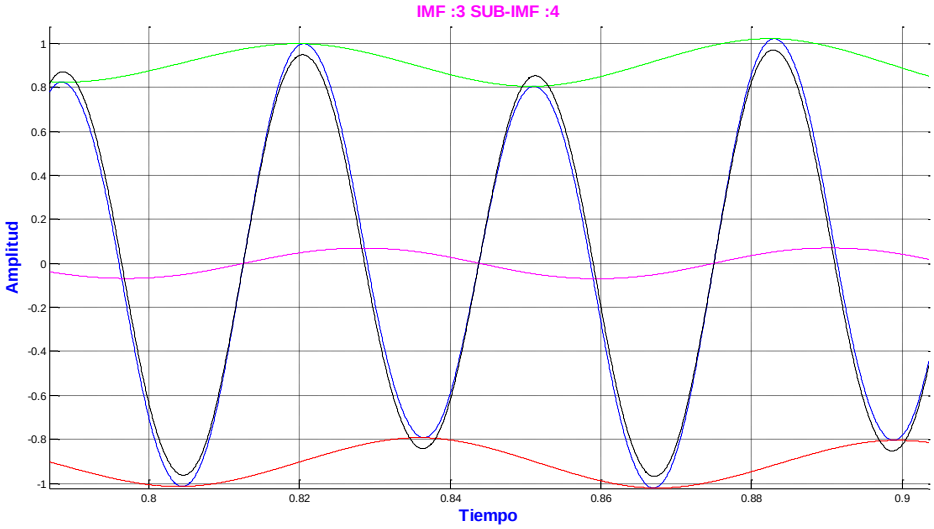
De una forma más detallada:



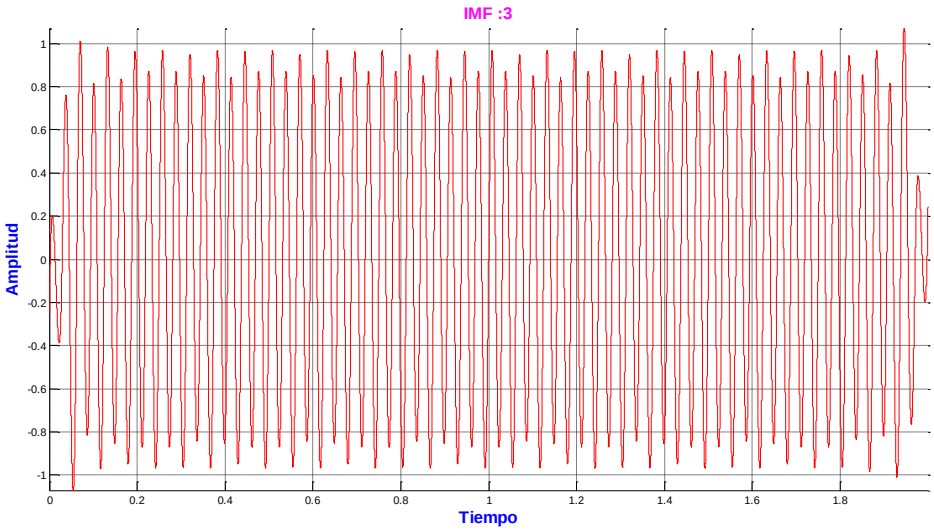
Continua con la cuarta de las iteraciones para la obtención de la tercera IMF:



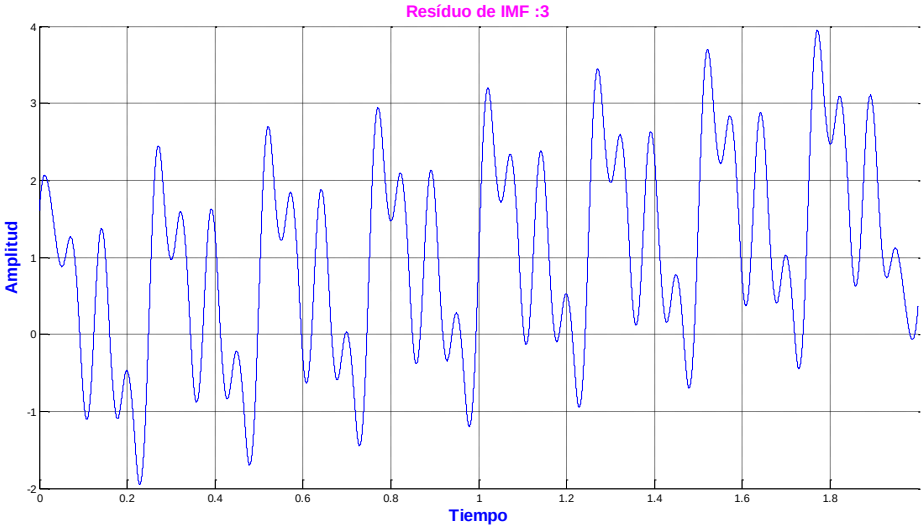
De forma más detallada, se presenta como:



Llegado al criterio de convergencia, se obtiene la tercera IMF, que se corresponde a la de una frecuencia igual a 32 Hz:

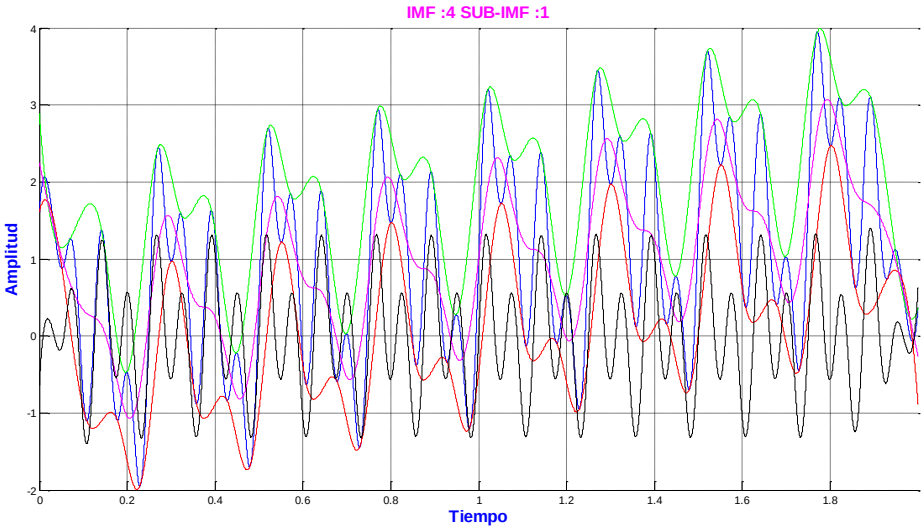


Así como su función residual correspondiente:

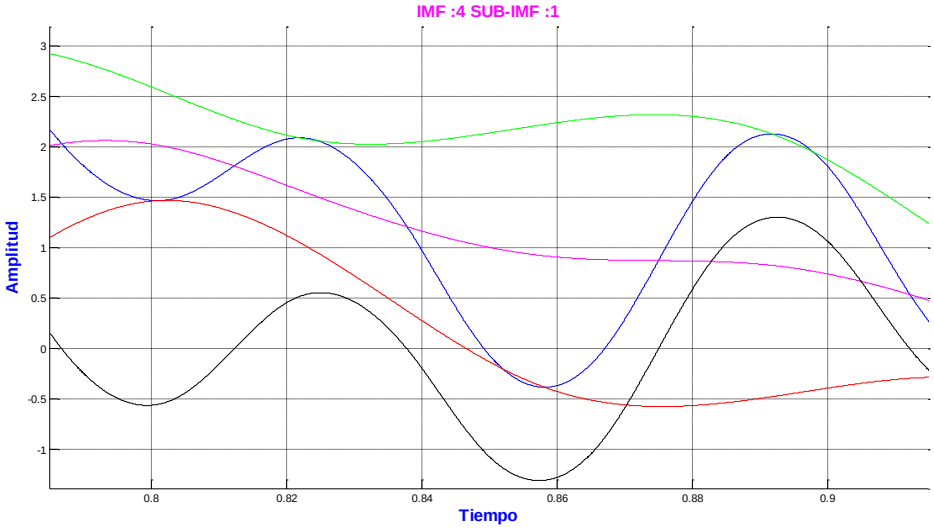


A partir de la cual, se iniciarán las iteraciones correspondientes para la obtención de la cuarta IMF.

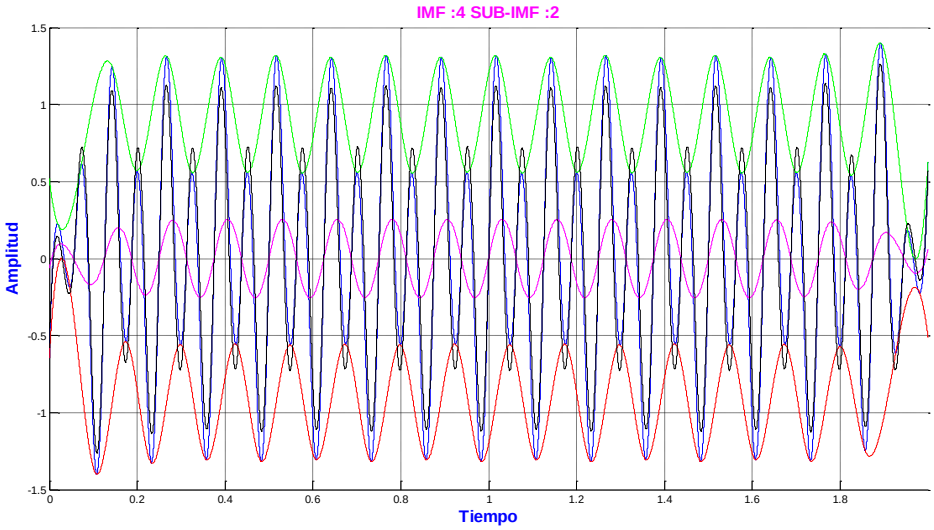
Siendo la primera iteración para la cuarta IMF:



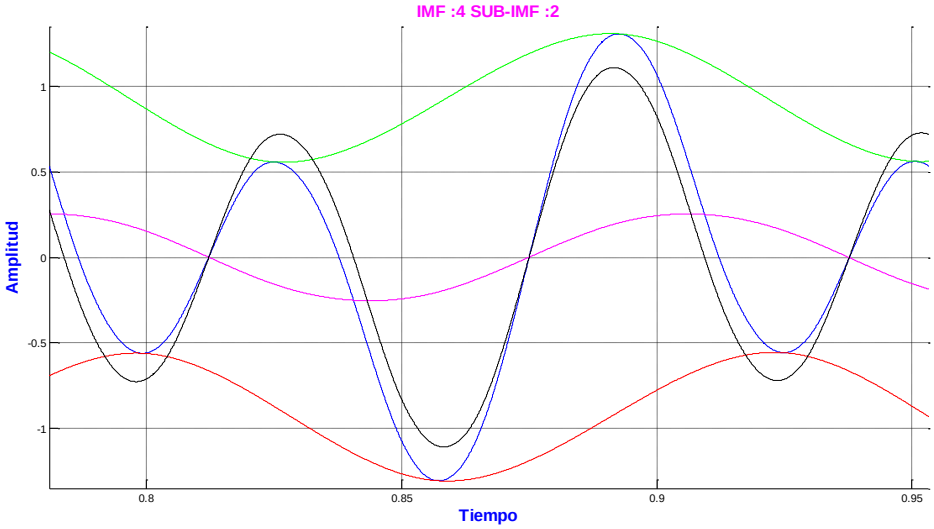
De forma más detallada, tenemos:



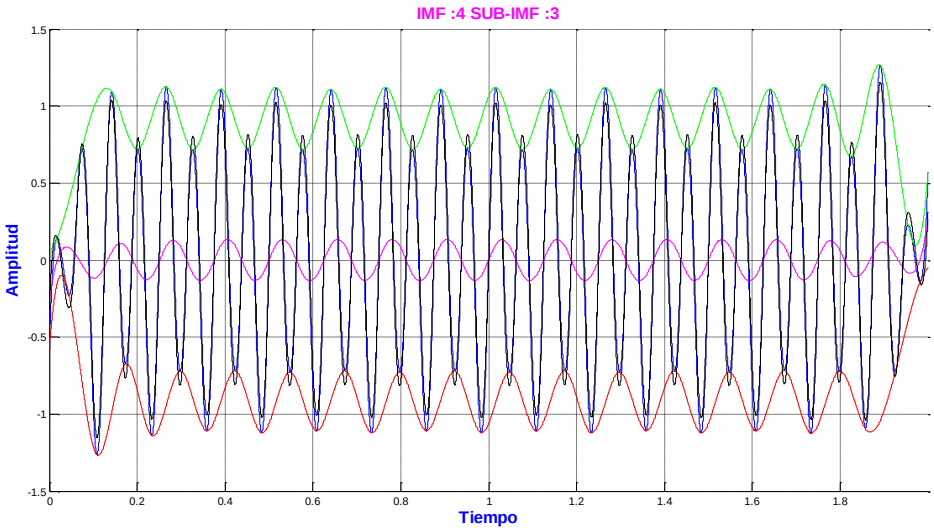
Siendo la segunda iteración para la cuarta IMF:



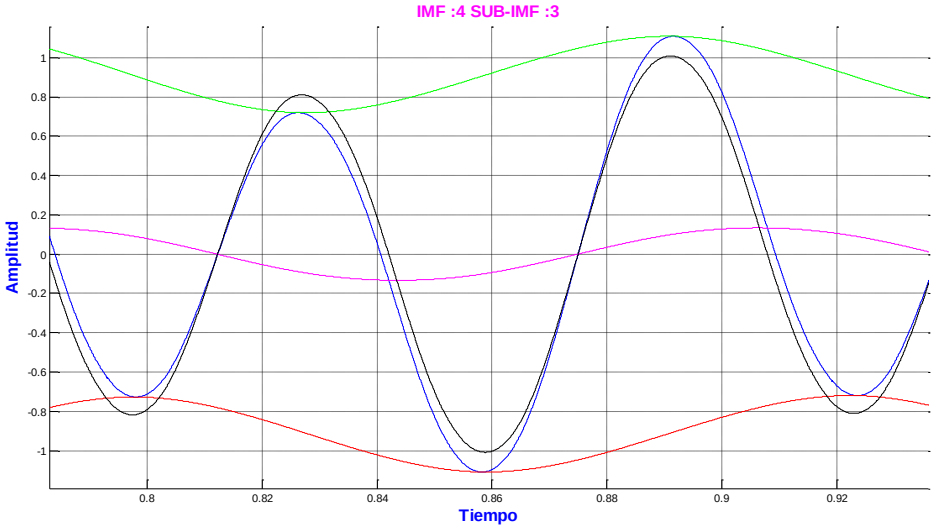
Y su detalle:



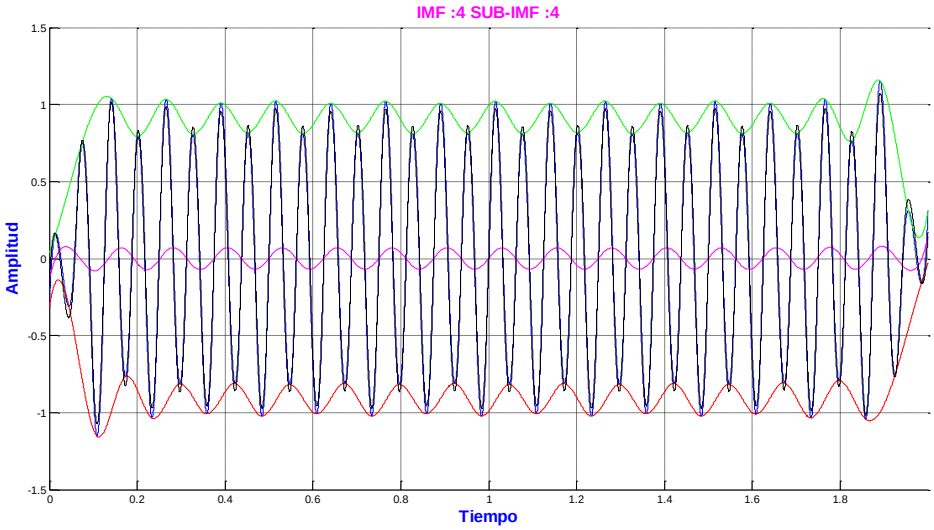
Siendo la tercera iteración para la cuarta IMF:



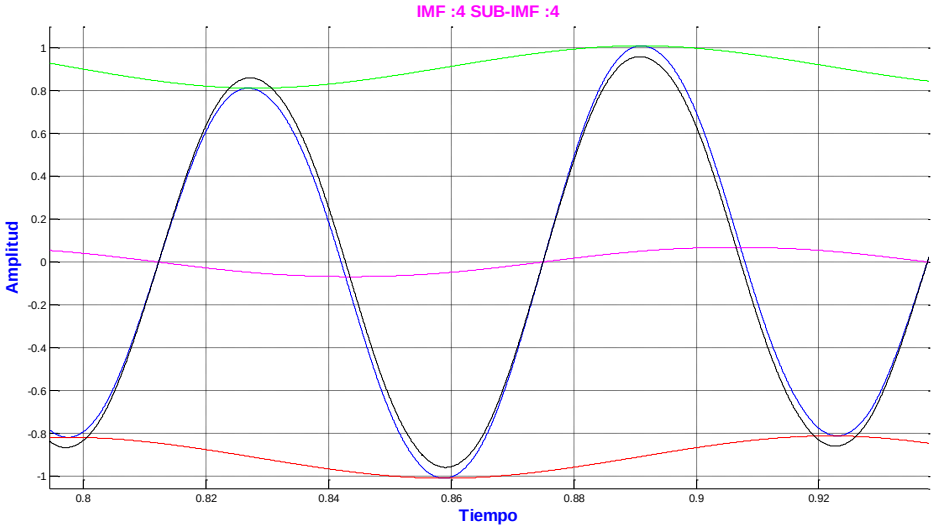
Siendo su detalle:



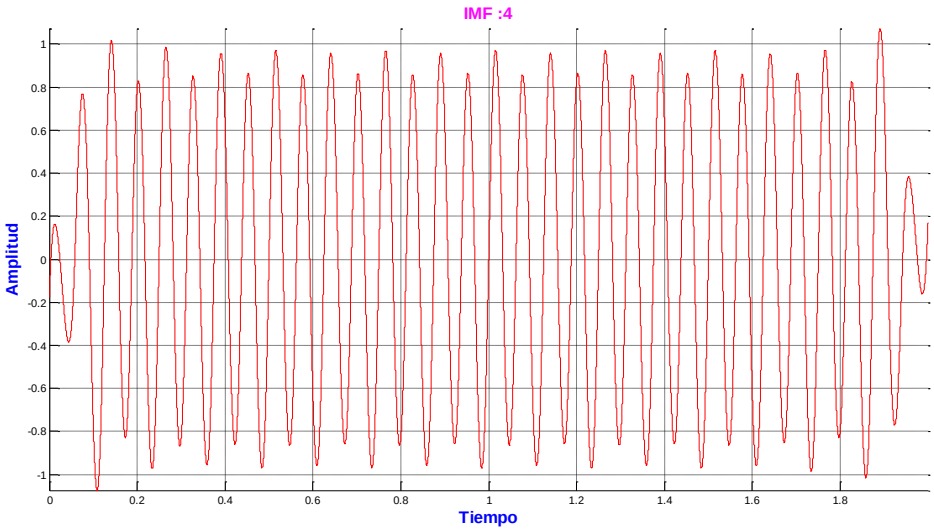
Siendo la cuarta iteración para la cuarta IMF:



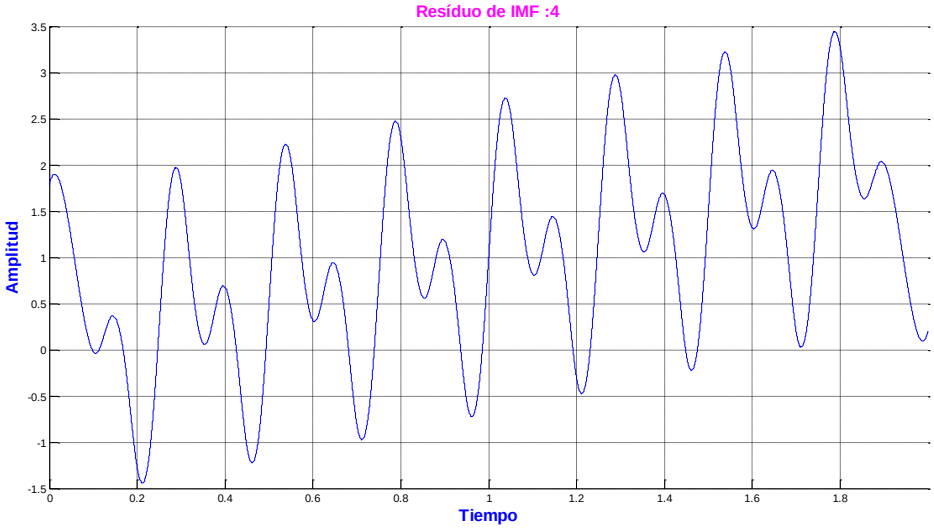
Siendo su detalle:



Se llega al criterio de convergencia, obteniéndose la cuarta IMF, que representa la frecuencia de 16 Hz:

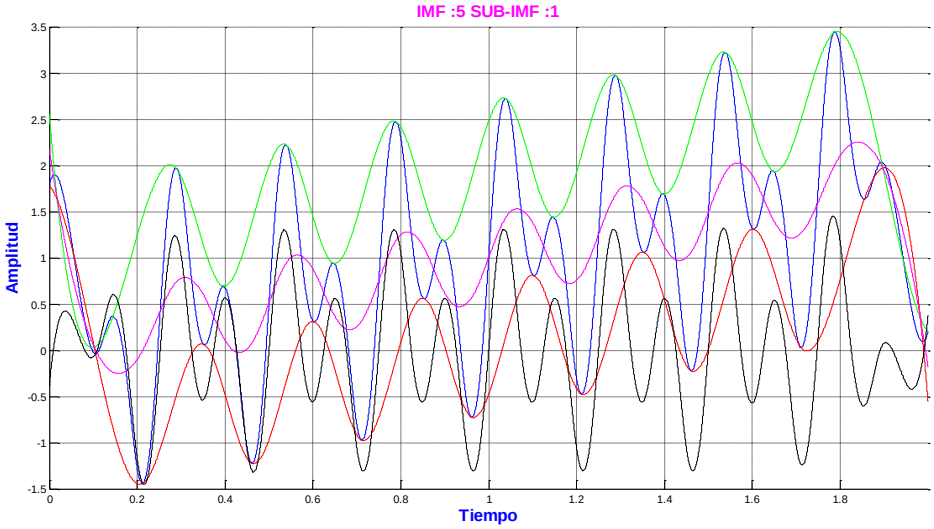


Siendo su residuo resultante:

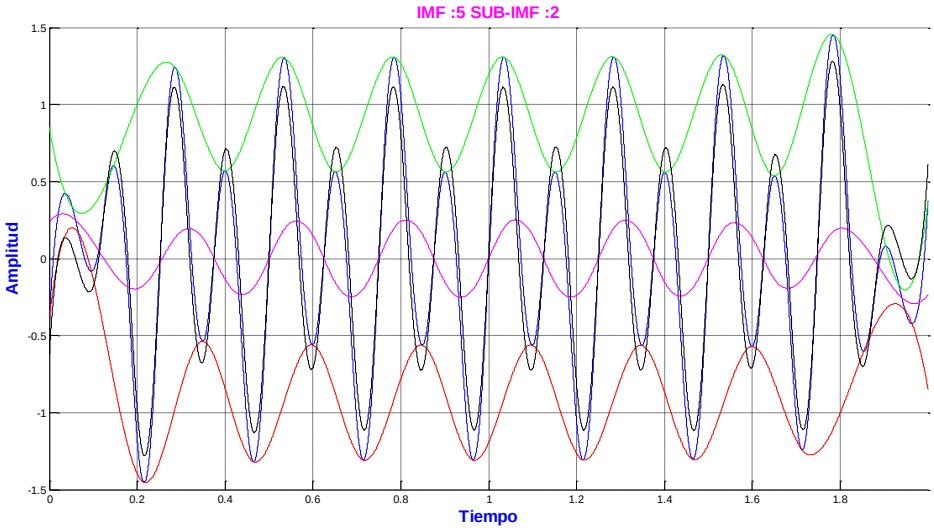


A partir del cual, se buscará la quinta IMF.

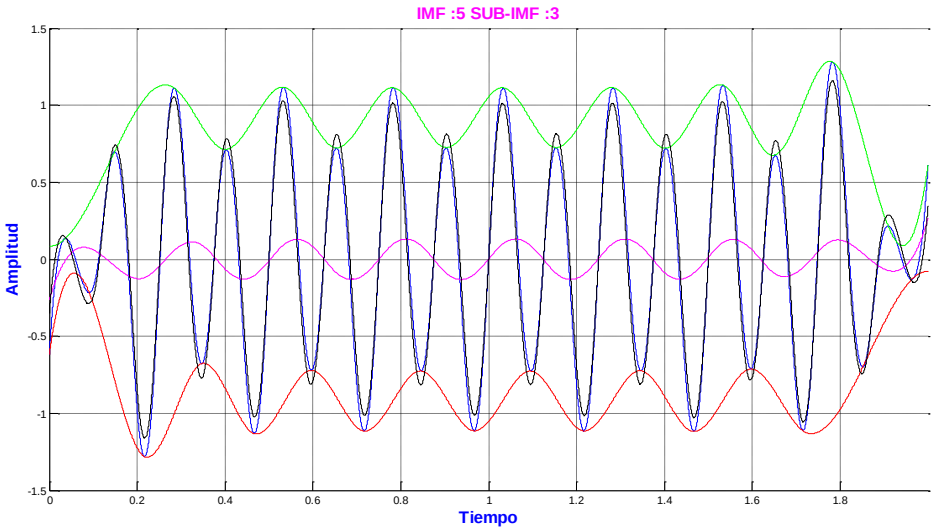
La primera iteración para la obtención de la quinta IMF vendrá representada por:



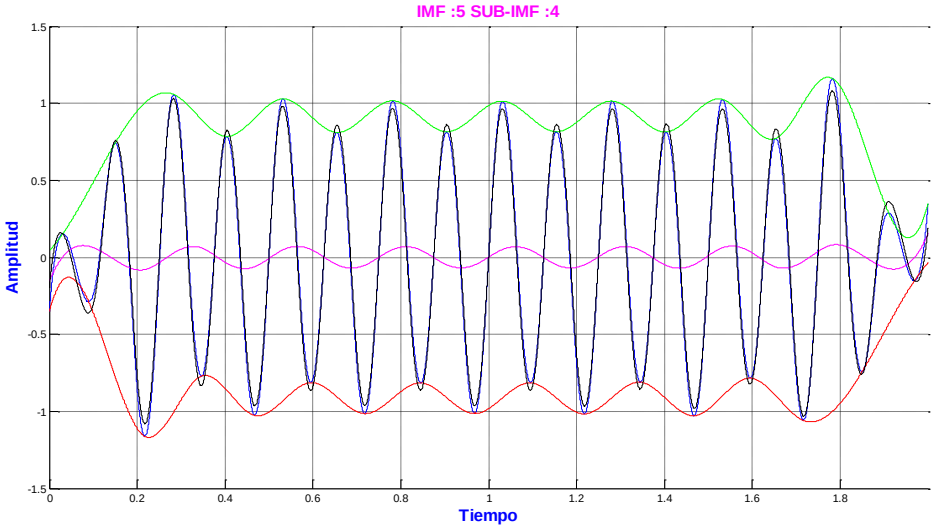
La segunda iteración para la obtención de la quinta IMF vendrá representada por:



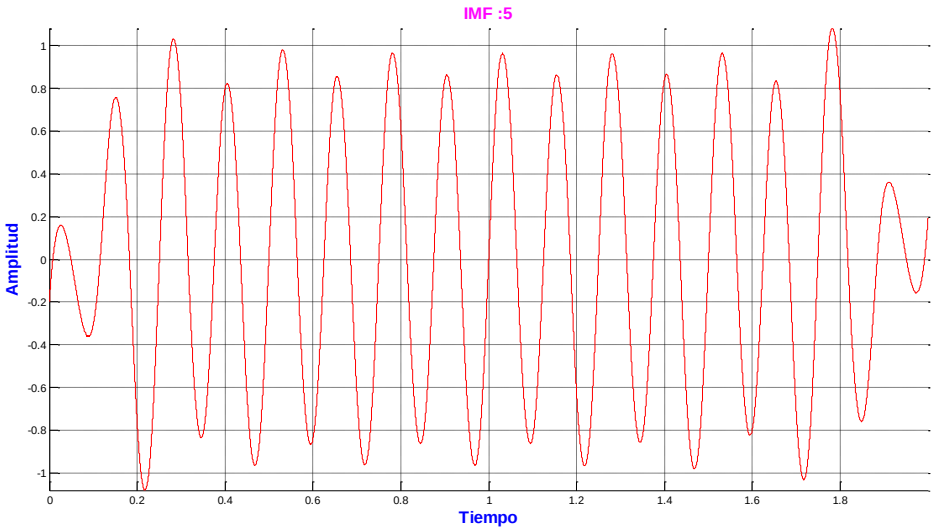
La tercera iteración para la obtención de la quinta IMF vendrá representada por:



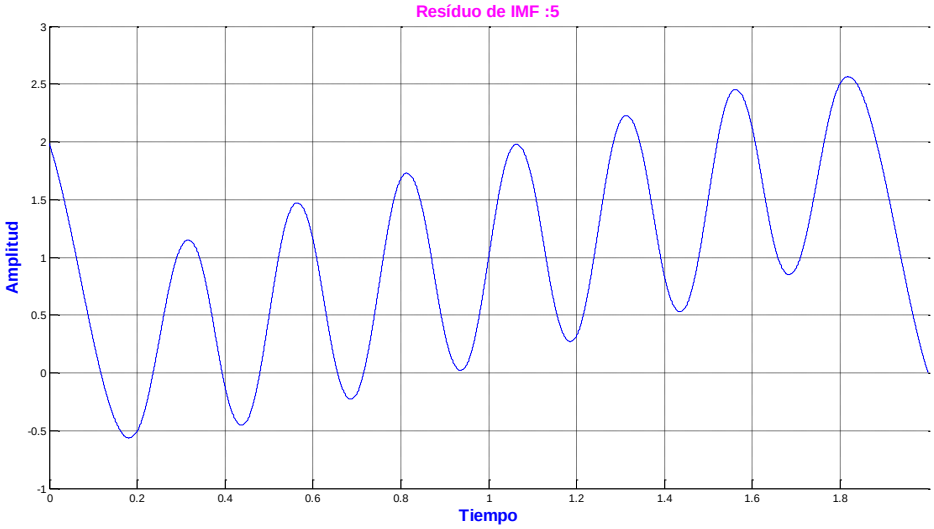
La cuarta iteración para la obtención de la quinta IMF vendrá representada por:



Llegado al criterio de convergencia, se obtiene la quinta IMF, que se corresponde a una frecuencia de 8 Hz:

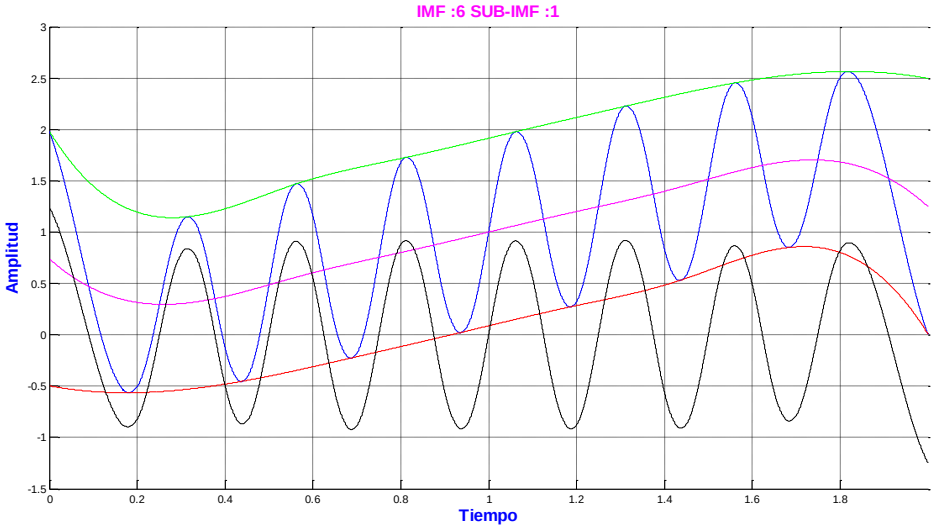


Siendo su correspondiente función residual:

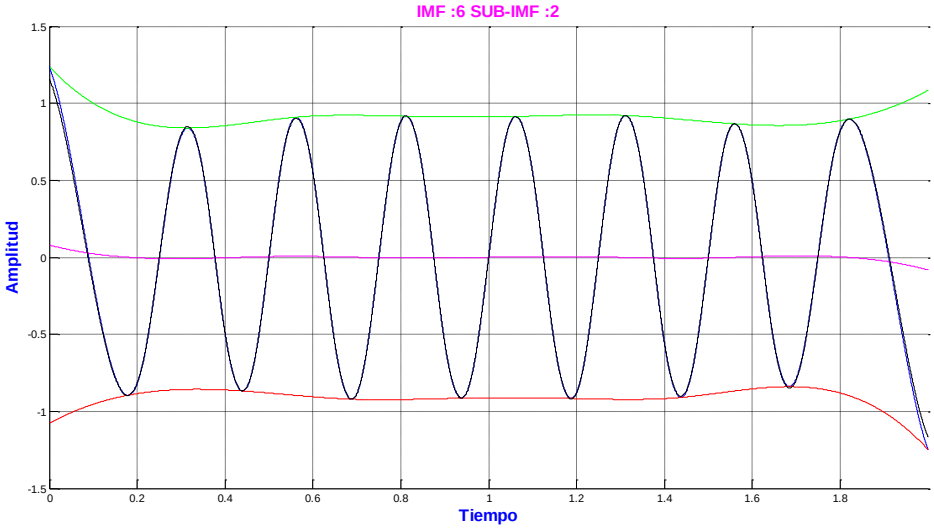


A partir de la cual, se obtendrá la sexta IMF.

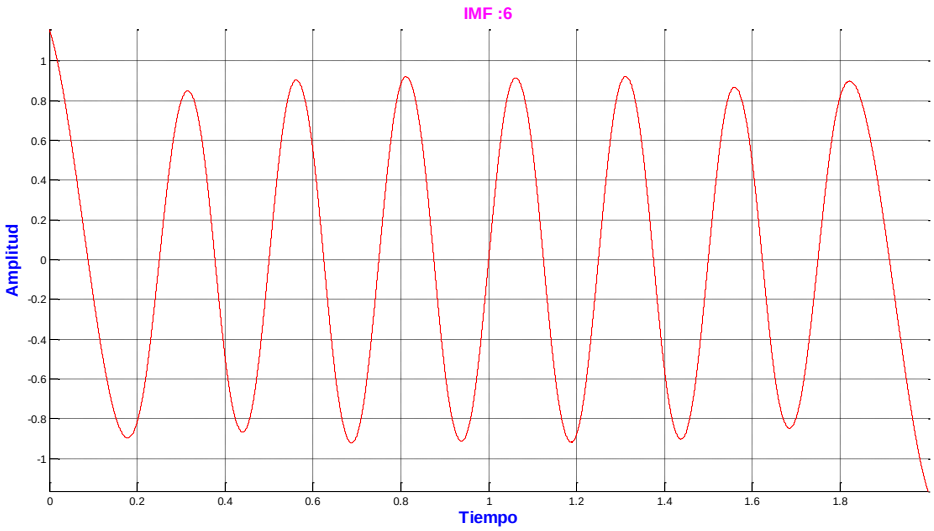
La primera iteración de la sexta IMF será:



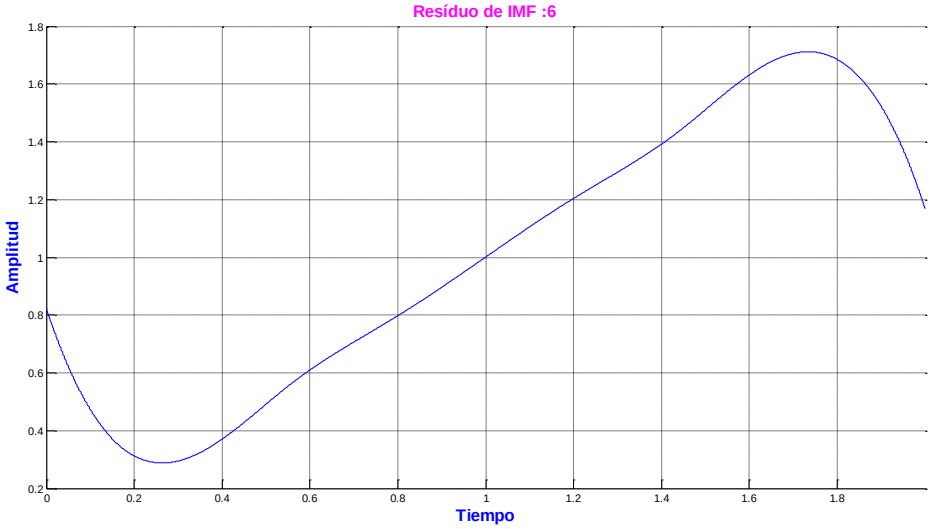
La segunda iteración de la sexta IMF será:



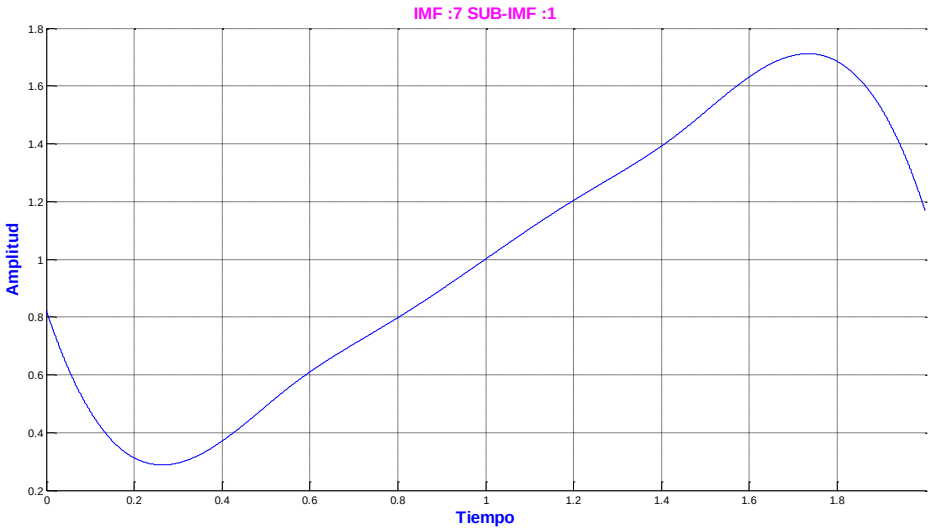
Se llega al criterio de convergencia, obteniéndose la sexta IMF:

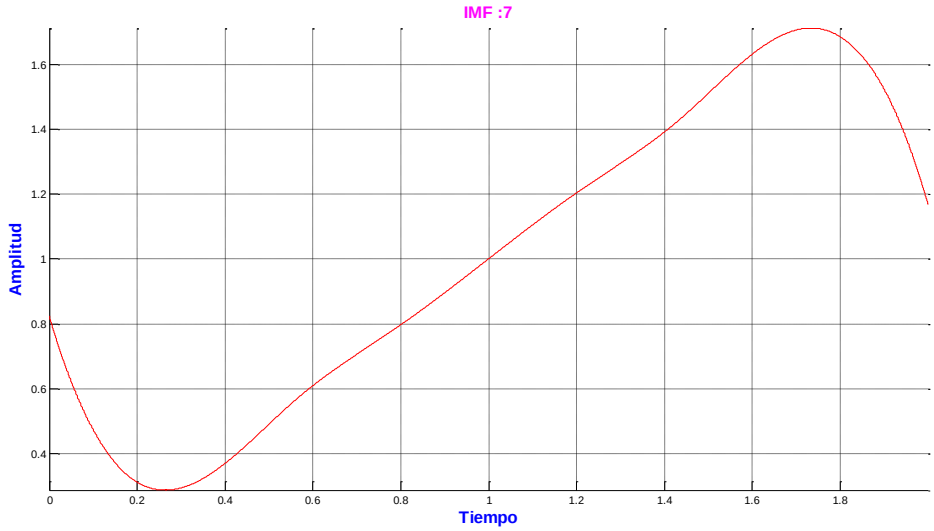


Junto a su correspondiente residuo:

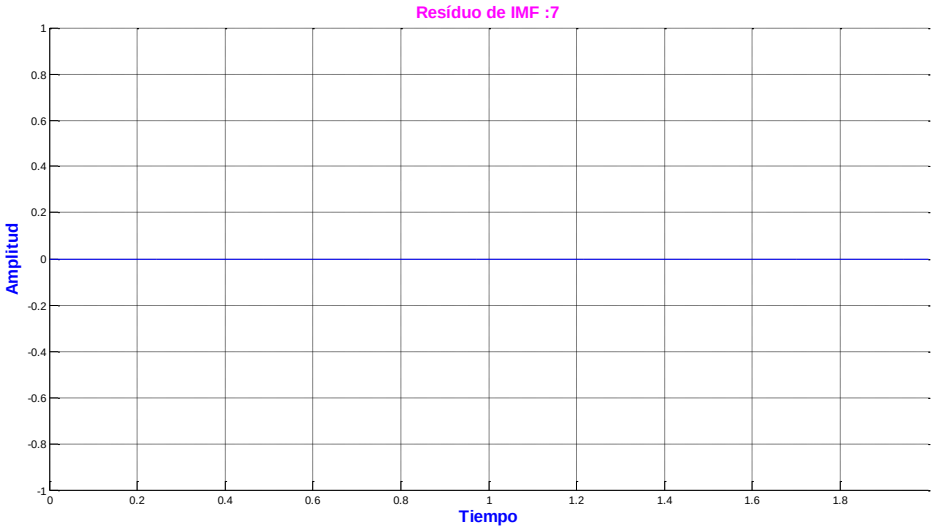


Partiendo del residuo anterior, como ya sólo tiene un mínimo y un máximo, se obtiene directamente la séptima IMF sin necesidad de realizar más iteraciones:



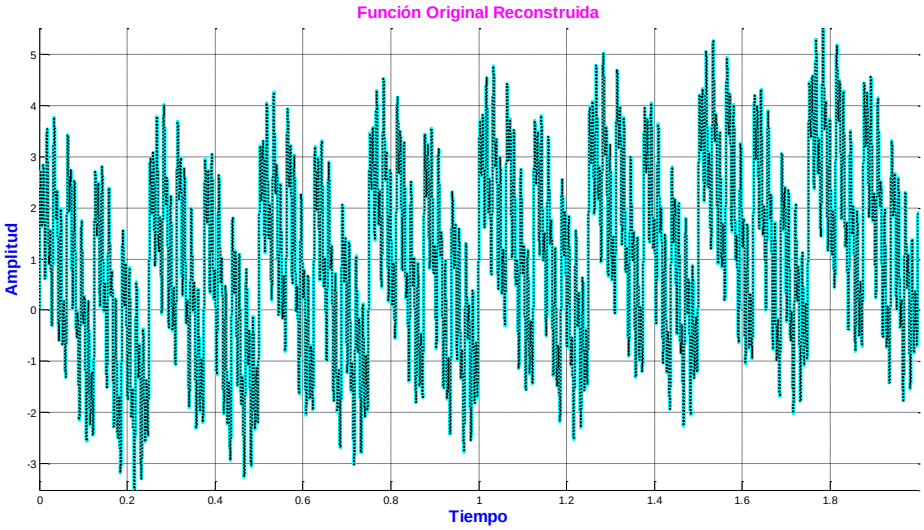


Siendo su correspondiente residuo:

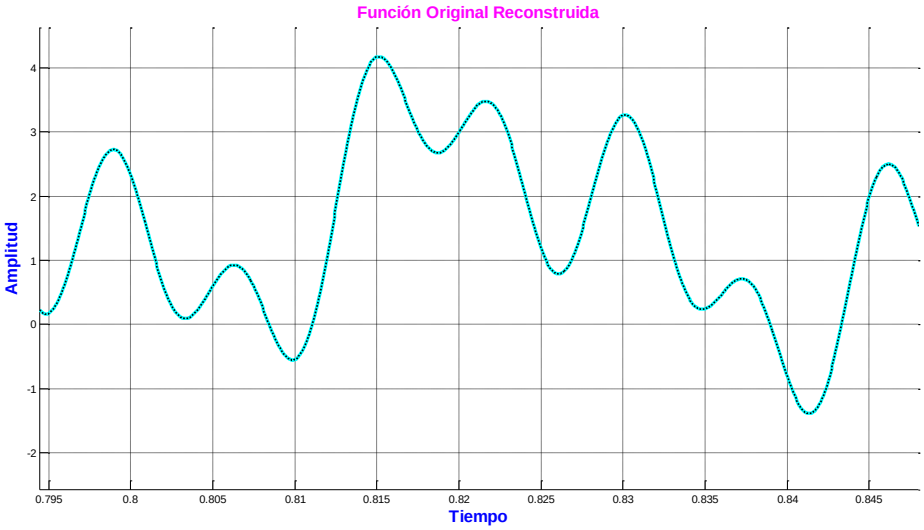


El residuo es nulo; por lo que finalizará el algoritmo.

Con la recopilación de las 7 IMF's obtenidas junto al último de los residuos, se procede a sumar todas las 40.000 componentes que integran la función. Y se compara, mediante solapamiento, si esa suma resulta equivalente a la representación de la función original:

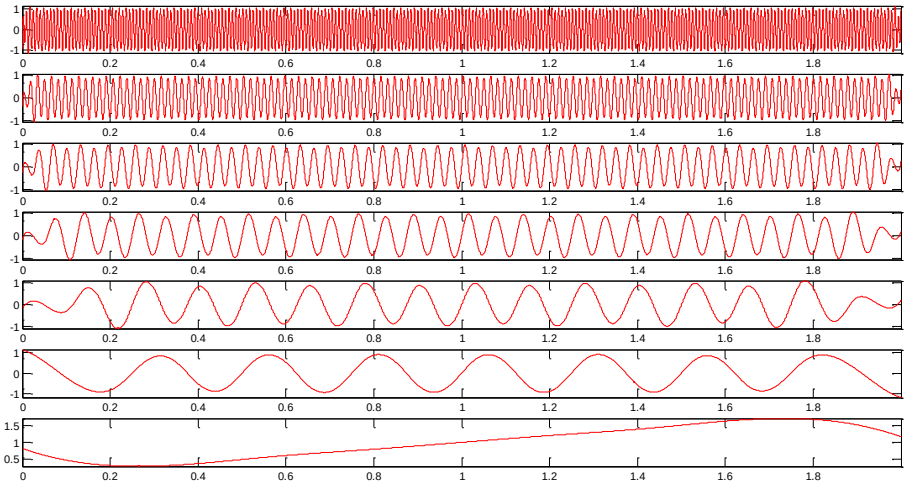


Siendo dicha respuesta afirmativa. Para ello veamos una sección de la misma.

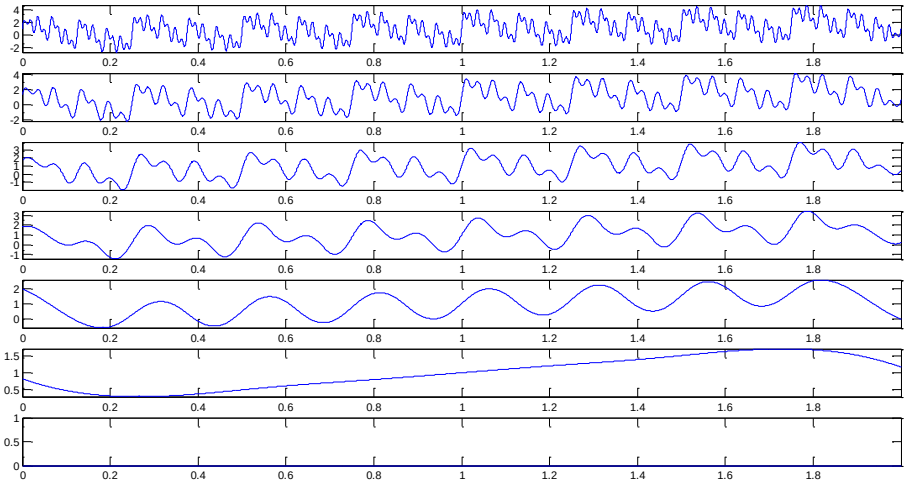


La gráfica de las IMF's y del último residuo sumados se solapa con la gráfica original. Una de ellas está representada en color cyan y otra mediante discontinuidad de puntos negros.

Como resumen, se presentan todas las IMF's obtenidas:



Así como todos los residuos que se han ido generando:



5.4. Representaciones de la frecuencia instantánea frente al tiempo. Análisis Espectral de Hilbert (HSA).

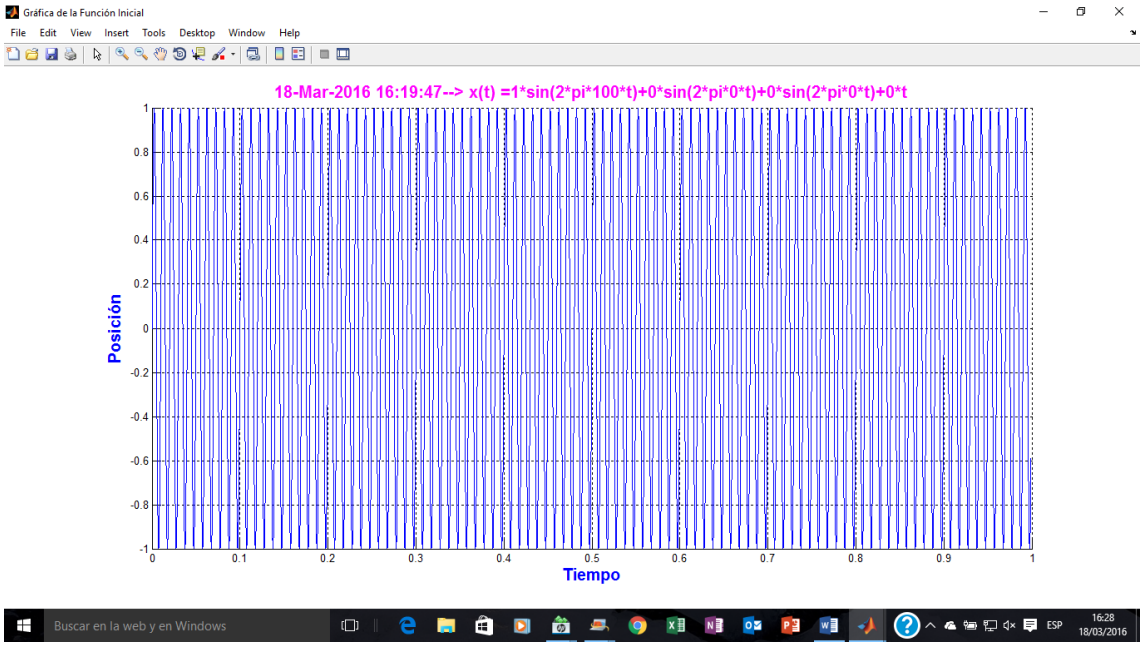
IMPORTANTE: Los resultados que se muestran en esta sección, fueron tratados teniendo en cuenta el Criterio de Máxima Pendiente Media.

Teniendo en cuenta [Url3], y como preámbulo de este punto, vamos a determinar la frecuencia de muestreo mínima apropiada para una señal de ejemplo. Para ello, sea la señal analógica representada por x(t) = sen(450*pi*t) + 3*sen(1450*pi*t). Para que no ocurra submuestreo, se debe cumplir el Teorema de Nyquist. Como la señal es x(t) = sen(2*pi*225*t) + 3*sen(2*pi*725*t), debería muestrearse a Fn > 2*Fmax. Como la frecuencia máxima (Fmax) es de 725 Hz; implica que debería muestrearse a Fn > 2*725, es decir, con una frecuencia de muestreo (Fn) > 1.450 Hz.

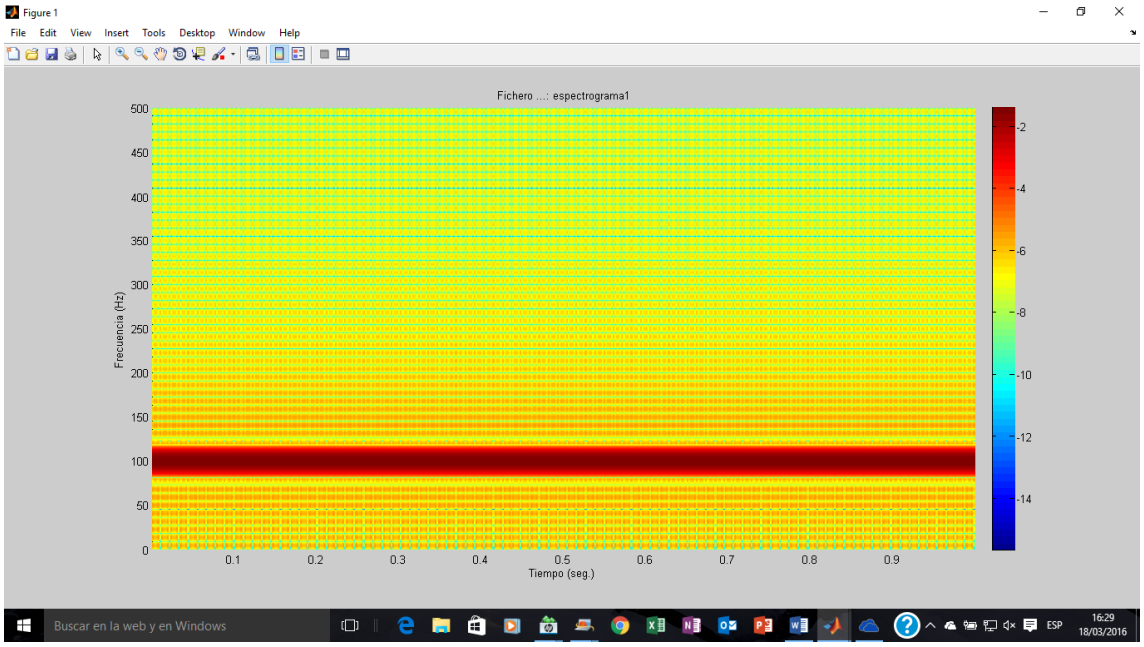
Se ofrece una explicación a la escala de colores que presentan los espectrogramas que se mostrarán a continuación. Dichos colores representan la potencia de la señal en dB/Hz (decibelios/herz). El decibelio (dB) [Url4] es una unidad de medida que se utiliza frecuentemente para describir la ganancia o atenuación de potencia. La relación en dB se calcula tomando una función logarítmica con la relación de la potencia medida o calculada P2 con respecto a la potencia de referencia P1. Cuando se obtienen valores negativos de potencia (según muestra la escala), no significa que la medida sea negativa; sino que el valor de la potencia medida es menor al de la potencia de referencia. Por lo que los valores negativos, determinan un nivel de atenuación sobre la señal original.

Como muestra de obtención de los espectrogramas, antes de ofrecer los resultados de los mismos sobre señales reales, se introducen unos ejemplos:

Ejemplo 1: Muestreo entre 0 y 0,999 segundos muestreados cada 0,001 segundos, para una amplitud igual a la unidad y una frecuencia conocida de 100.

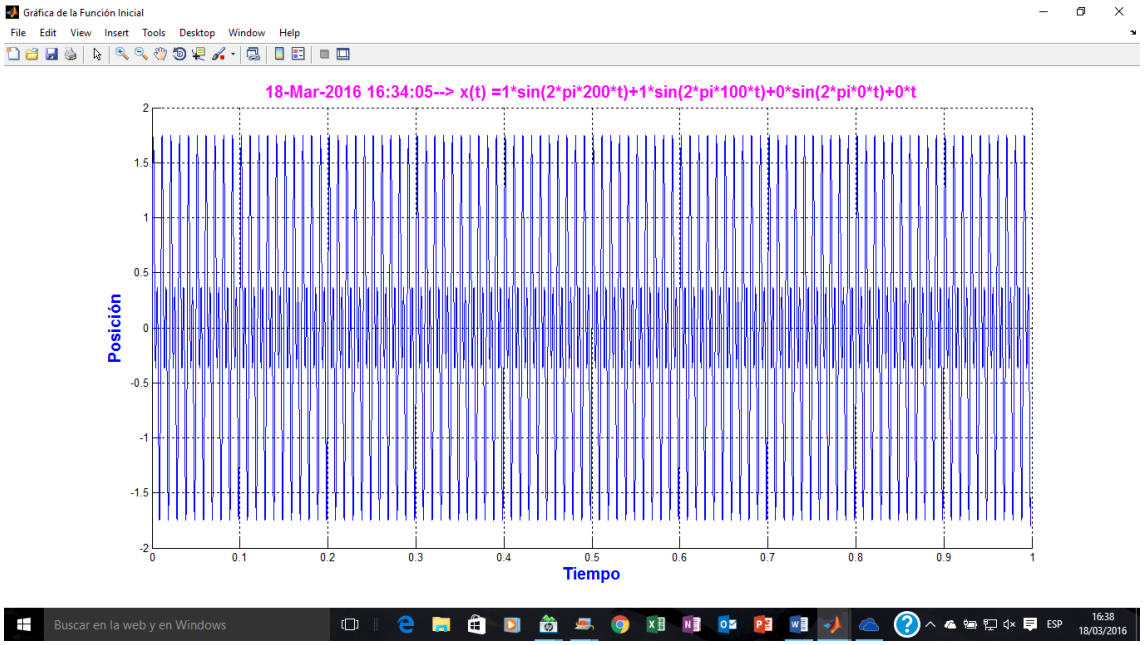


El espectrograma que se genera a partir del fichero de datos, que origina la gráfica anterior es el siguiente:

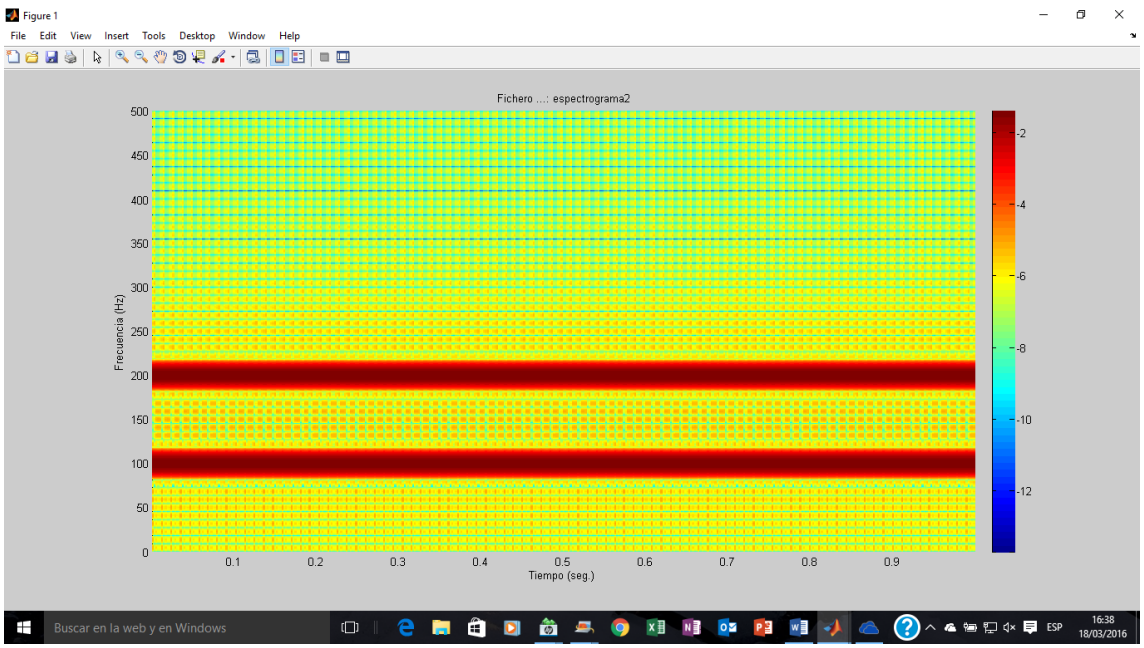


A la vista de lo anterior, parece que la frecuencia que indica el eje Y se halla en consonancia con la frecuencia conocida de la que hemos partido; y que era igual a 100 Hz.

Ejemplo 2: Muestreo entre 0 y 0,999 segundos muestreados cada 0,001 segundos, para amplitudes igual a la unidad y frecuencias conocidas de 200 y 100.



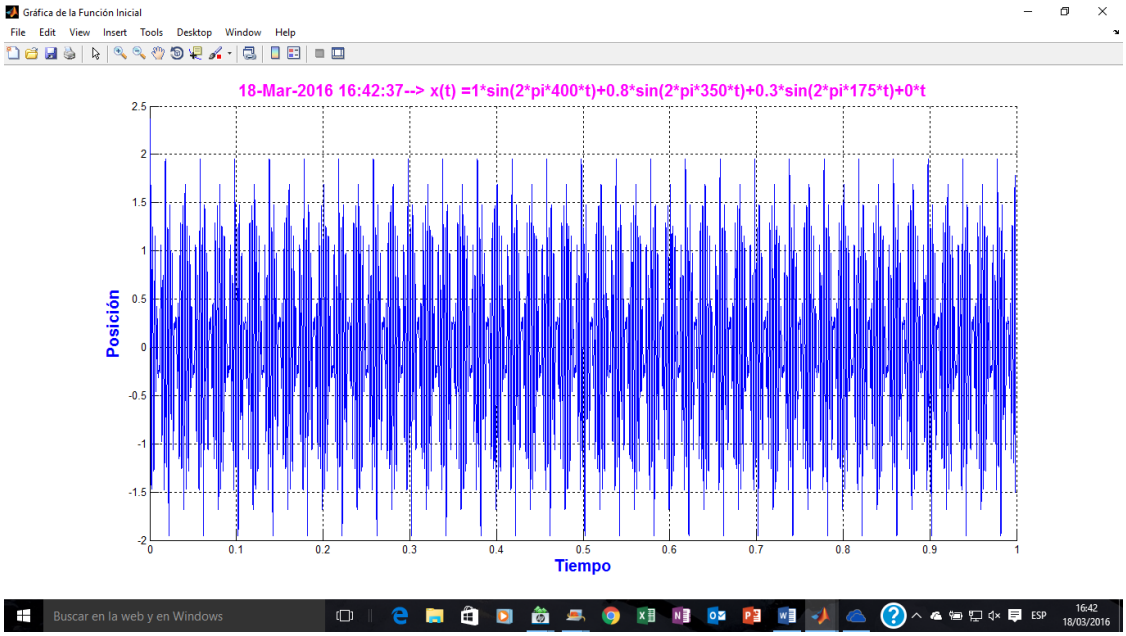
El espectrograma que se genera a partir del fichero de datos que origina la gráfica anterior es el siguiente:



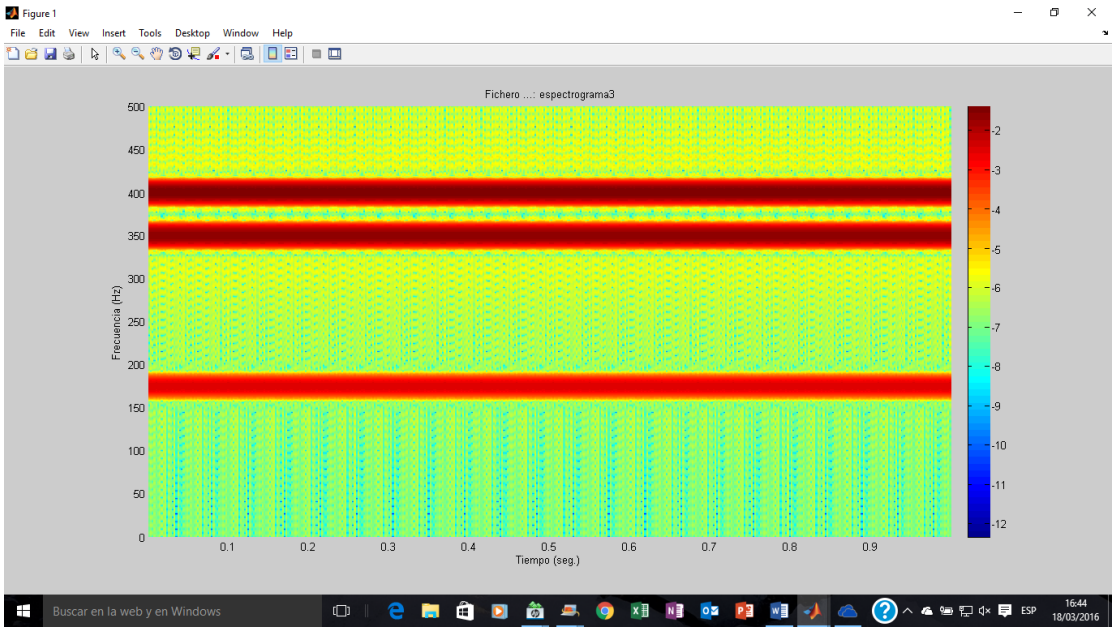
Que también se halla en consonancia con las frecuencias conocidas de 100 y 200

Hz.

Ejemplo 3: Muestreo entre 0 y 0,999 segundos muestreados cada 0,001 segundos, para amplitudes igual a 1, 0.8 y 0.3 con frecuencias respectivas conocidas de 400, 350 y 175.

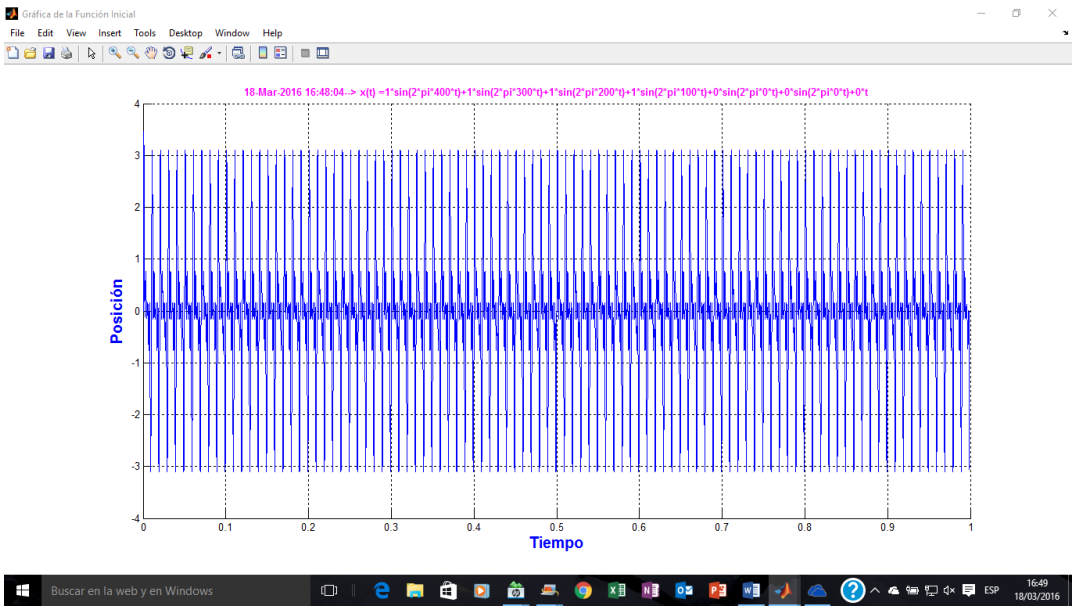


El espectrograma que se genera a partir del fichero de datos que origina la gráfica anterior es el siguiente:

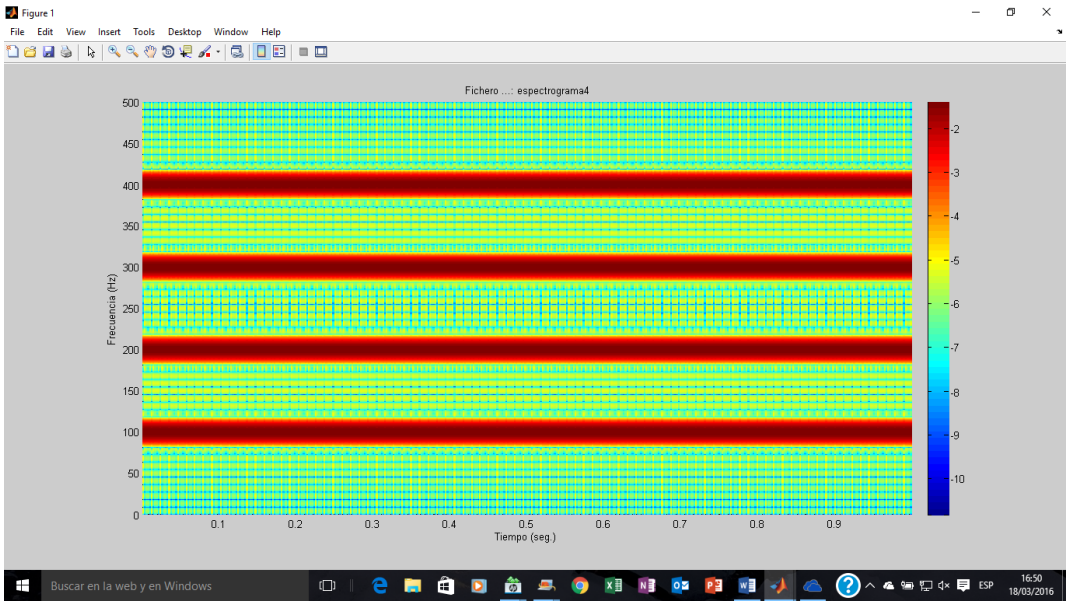


Que también se halla en consonancia con las frecuencias conocidas de 400, 350 y 175 Hz.

Ejemplo 4: Muestreo entre 0 y 0,999 segundos muestreados cada 0,001 segundos, para amplitudes igual a la unidad y frecuencias conocidas de 400, 300, 200 y 100.

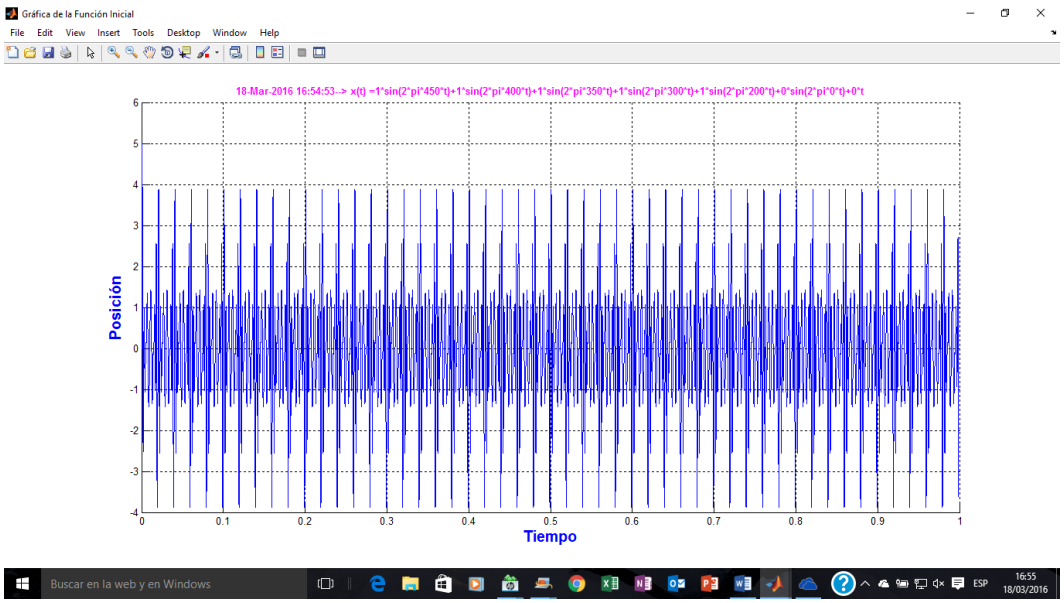


El espectrograma que se genera a partir del fichero de datos que origina la gráfica anterior es el siguiente:

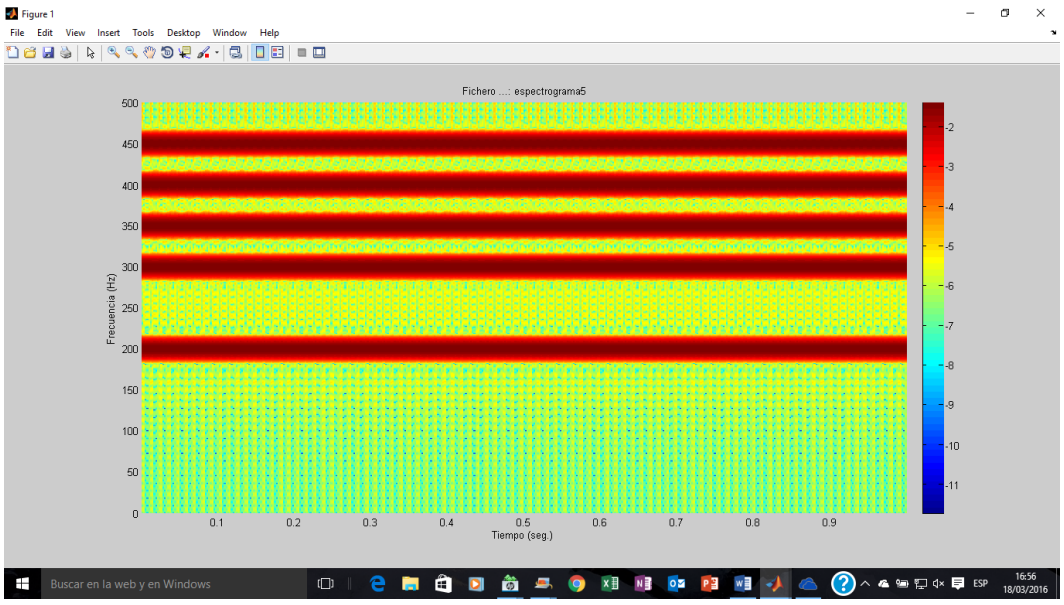


Que también se halla en consonancia con las frecuencias conocidas de 400, 300, 200 y 100 Hz.

Ejemplo 5: Muestreo entre 0 y 0,999 segundos muestreados cada 0,001 segundos, para amplitudes igual a la unidad y frecuencias conocidas de 450, 400, 350, 300 y 200.

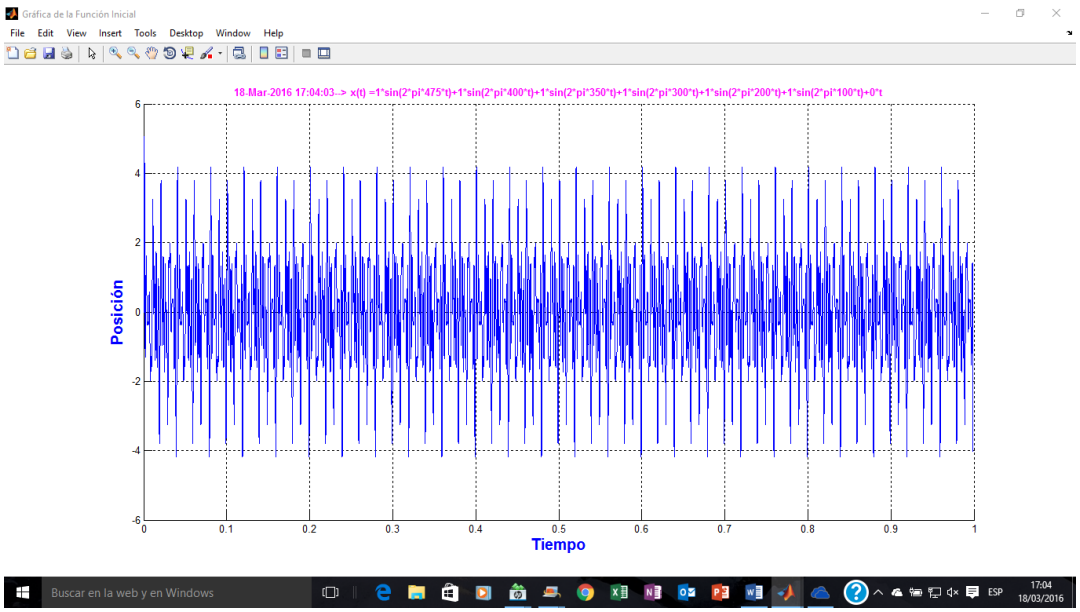


El espectrograma que se genera a partir del fichero de datos que origina la gráfica anterior es el siguiente:

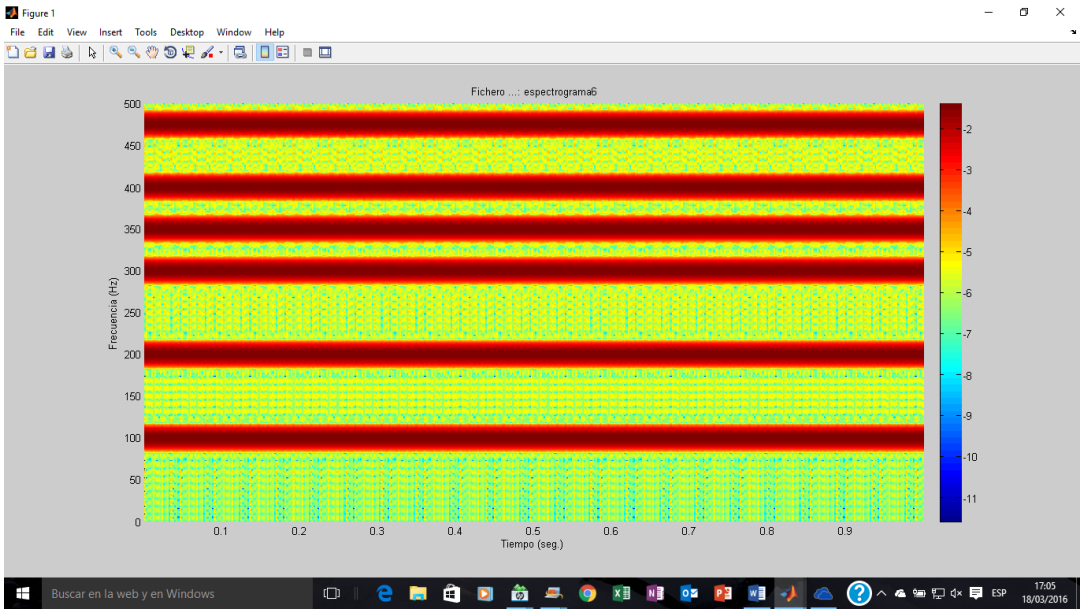


Que también se halla en consonancia con las frecuencias conocidas de 450, 400, 350, 300 y 200 Hz.

Ejemplo 6: Muestreo entre 0 y 0,999 segundos muestreados cada 0,001 segundos, para amplitudes igual a la unidad y frecuencias conocidas de 475, 400, 350, 300, 200, 100.



El espectrograma que se genera a partir del fichero de datos que origina la gráfica anterior es el siguiente:



Que también se halla en consonancia con las frecuencias conocidas de 475, 400, 350, 300, 200 y 100 Hz.

Como análisis de la situación, se expondrán los resultados para 20 de las descargas reales que forman parte de una campaña. El orden de presentación de las 20 descargas reales será el de menor a mayor pendiente. La pendiente mide la variación de la amplitud de la señal número 2 con respecto al tiempo. La frecuencia de muestreo inicial es de 1.000 muestras / segundo.

(1) Para la descarga 84639, tomando los 1.024 instantes anteriores a la disrupción, su gráfica y su espectrograma son los siguientes:

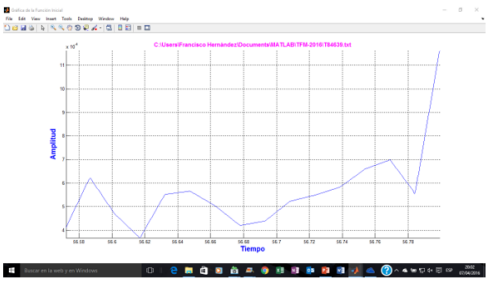


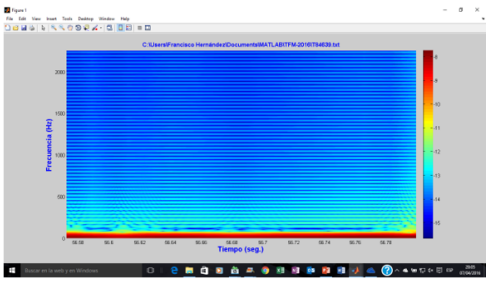
(2) Obtenida la pendiente media máxima de la curva anterior, resulta un subconjunto de los 1.024 instantes iniciales. A partir de dicha pendiente se considera todo el conjunto de instantes existentes hasta producirse la disrupción. Si dicho subconjunto es menor que 1.024 se interpolan tantos instantes como sean necesarios hasta completar los 1.024. Una vez realizada la interpolación, la nueva gráfica y espectrograma vendrán dados por:

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84639 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupción: 56,7992

Obtenida la máxima pendiente, ésta se encuentra en un tramo que comprende 16 intervalos, tomándose desde el instante t = 56,572072 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 56,7992). Lo anterior supone que se tomen sólo los últimos 228 instantes de los 1024 que teníamos anteriormente. Como hemos de interpolar sobre esos 228 instantes hasta conseguir 1024,la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1000 muestras/segundo a 4.5110e+03 (4511,0) muestras/segundo.



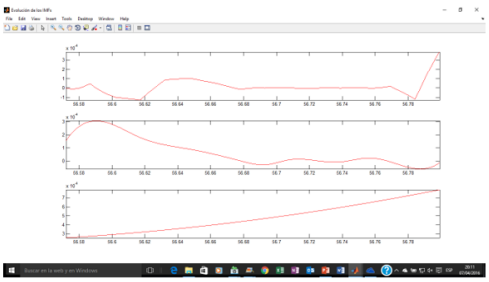


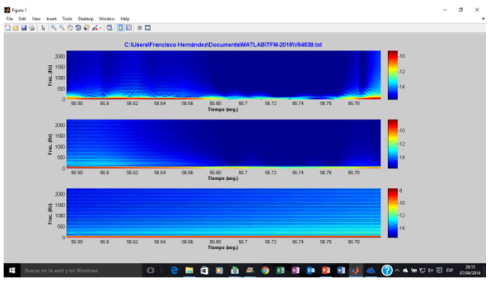
(3) Finalmente, al ejecutar la función Matlab HH (algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005]), resultan las siguientes IMF's y sus correspondientes espectrogramas.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84639 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupción: 56,7992

A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 4511,0 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

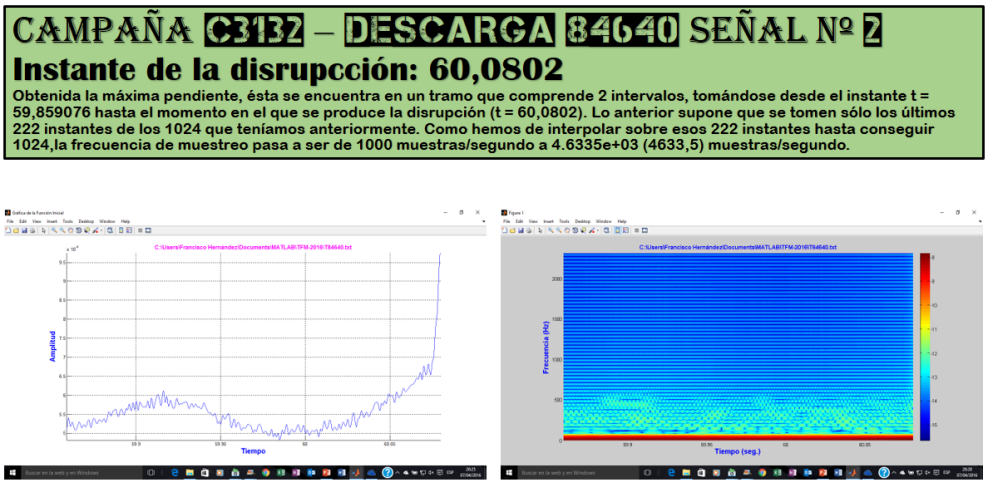




(1) Para la descarga 84640 original.

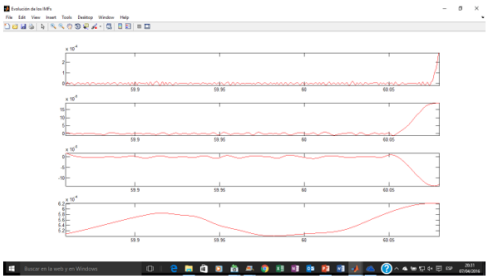


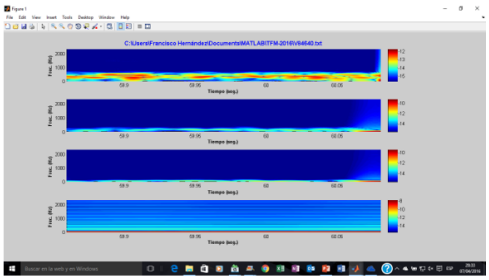
(2) Para la descarga 84640 con interpolación.



(3) Para la descarga 84640, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

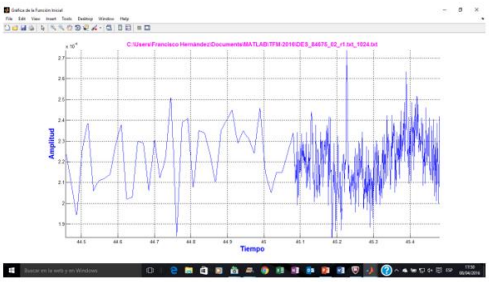
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84640 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 60,0802
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 4633,5 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

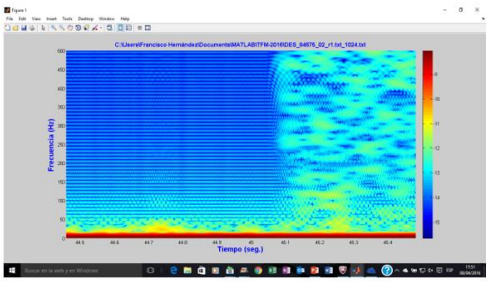




(1) Para la descarga 84675 original.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84675 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 45,4818



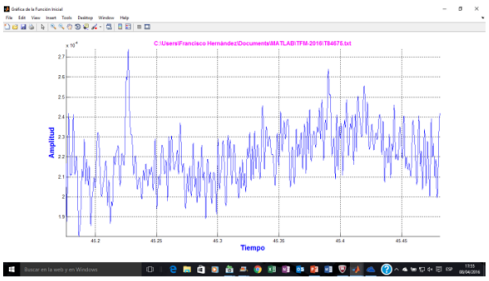


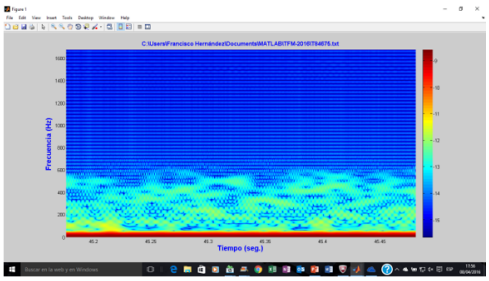
(2) Para la descarga 84675 con interpolación.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84675 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupción: 45,4818

Obtenida la máxima pendiente, ésta se encuentra en un tramo que comprende 2 intervalos, tomándose desde el instante t = 45,176065 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 45,4818). Lo anterior supone que se tomen sólo los últimos 306 instantes de los 1024 que teníamos anteriormente. Como hemos de interpolar sobre esos 306 instantes hasta conseguir 1024,la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1000 muestras/segundo a 3.3574e+03 (3357,4) muestras/segundo.



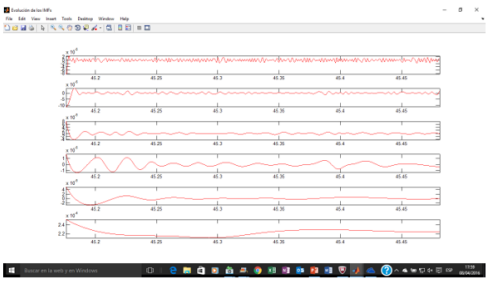


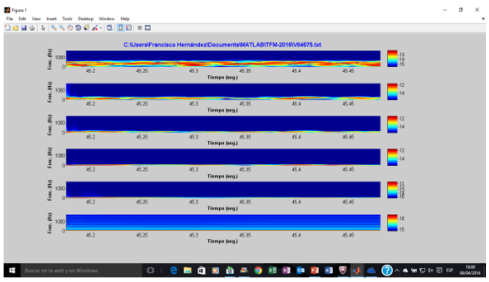
(3) Para la descarga 84675, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84675 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupción: 45,4818

A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 3357,4 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

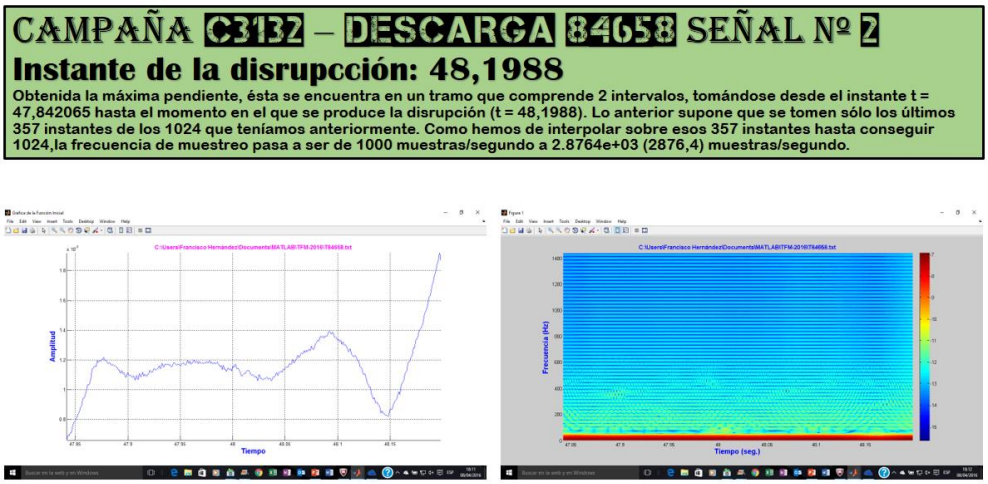




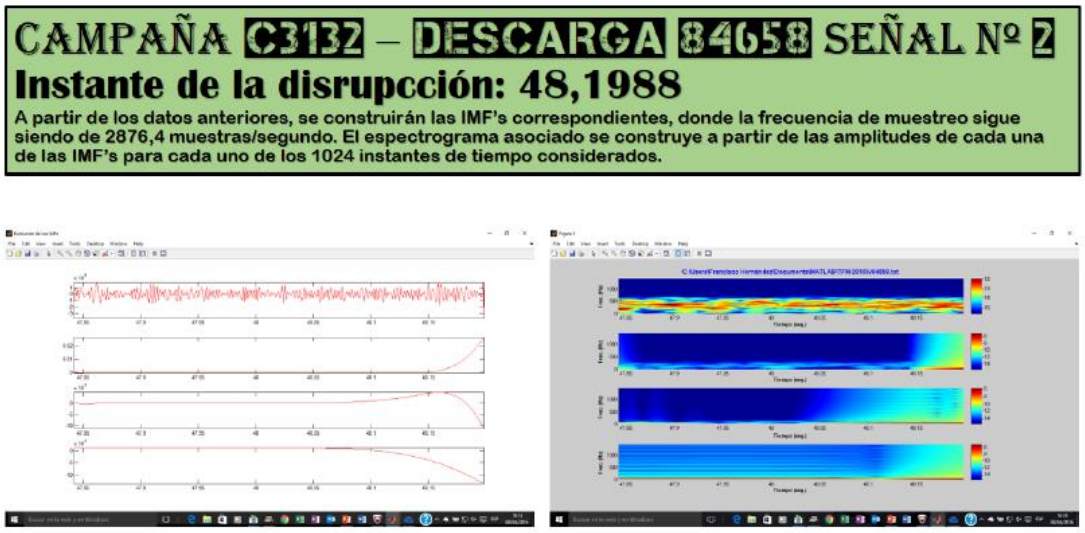
(1) Para la descarga 84658 original.



(2) Para la descarga 84658 con interpolación.



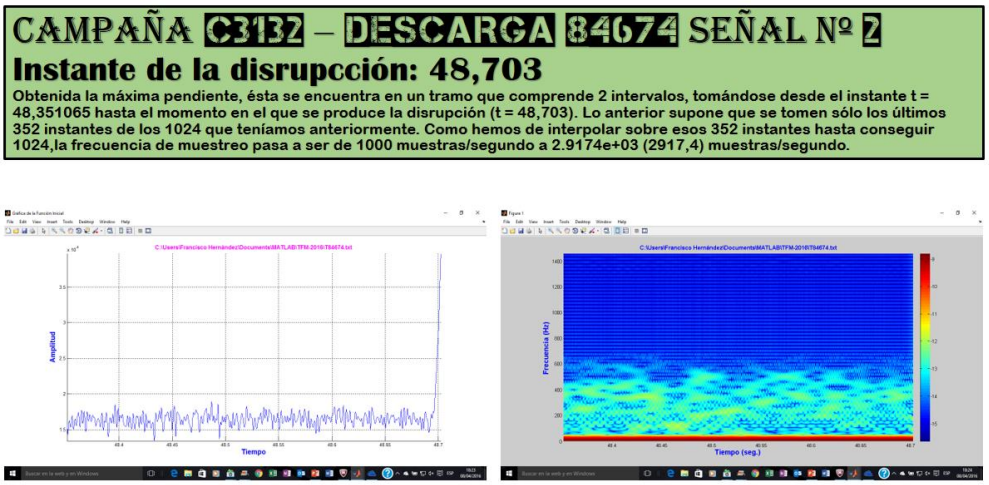
(3) Para la descarga 84658, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



(1) Para la descarga 84674 original.



(2) Para la descarga 84674 con interpolación.

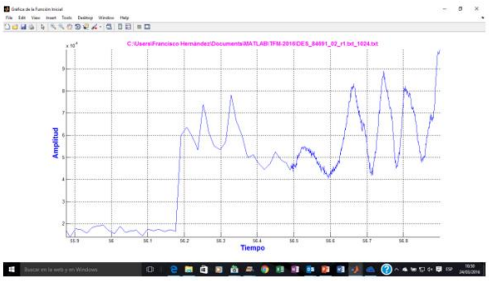


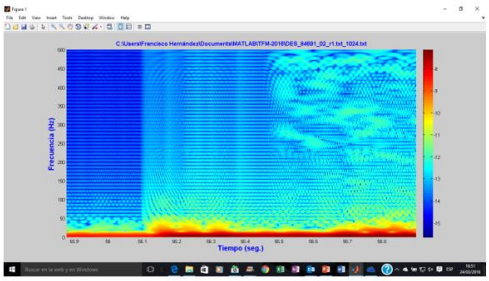
(3) Para la descarga 84674, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



(1) Para la descarga 84691 original.

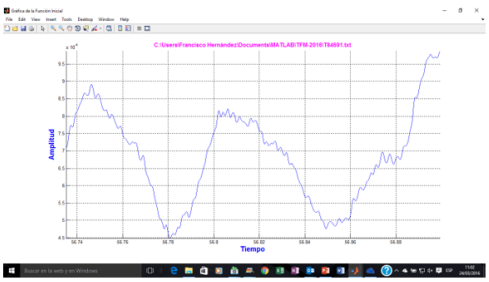
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84691 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupcción: 56,9

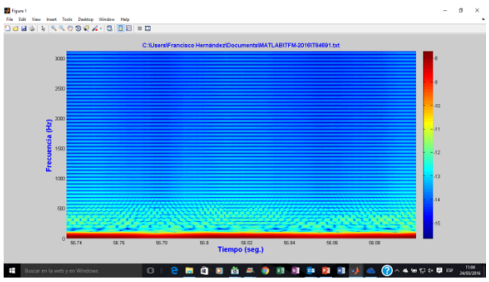




(2) Para la descarga 84691 con interpolación.

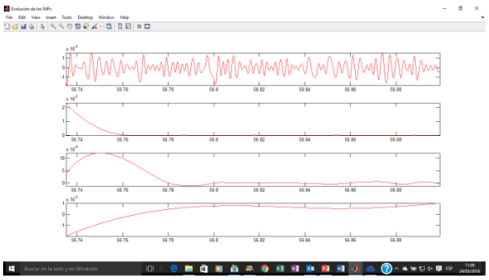
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84691 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupcción: 56,9
Obtenida la máxima pendiente, ésta se encuentra en un tramo que comprende 3 intervalos, tomándose desde el instante t = 56,735072 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 56,9). Lo anterior supone que se tomen sólo los últimos 165 instantes de los 1024 que teníamos anteriormente. Como hemos de interpolar sobre esos 165 instantes hasta conseguir 1024,la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1000 muestras/segundo a 6.2439e+03 (6243,9) muestras/segundo.

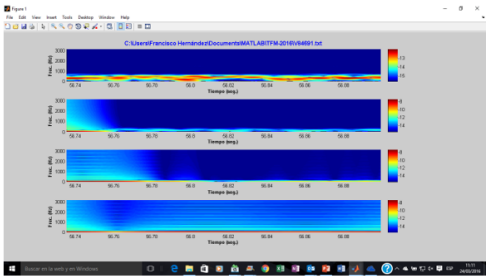




(3) Para la descarga 84691, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84691 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 56,9
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 6243,9 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

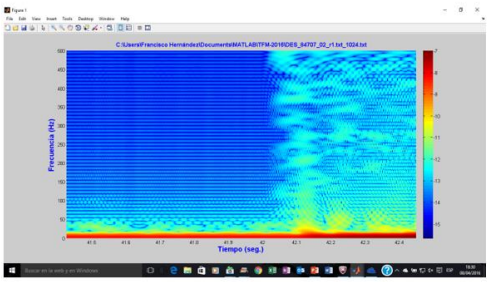




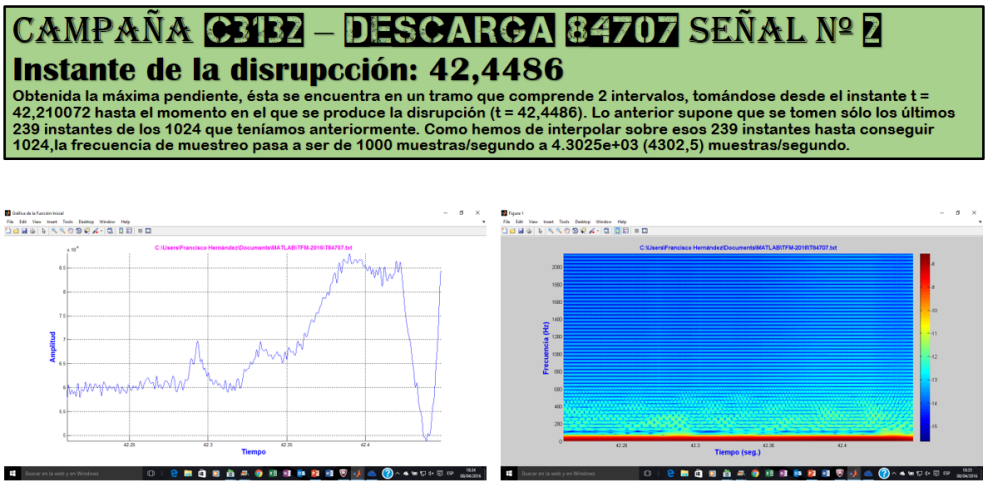
(1) Para la descarga 84707 original.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84707 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 42,4486

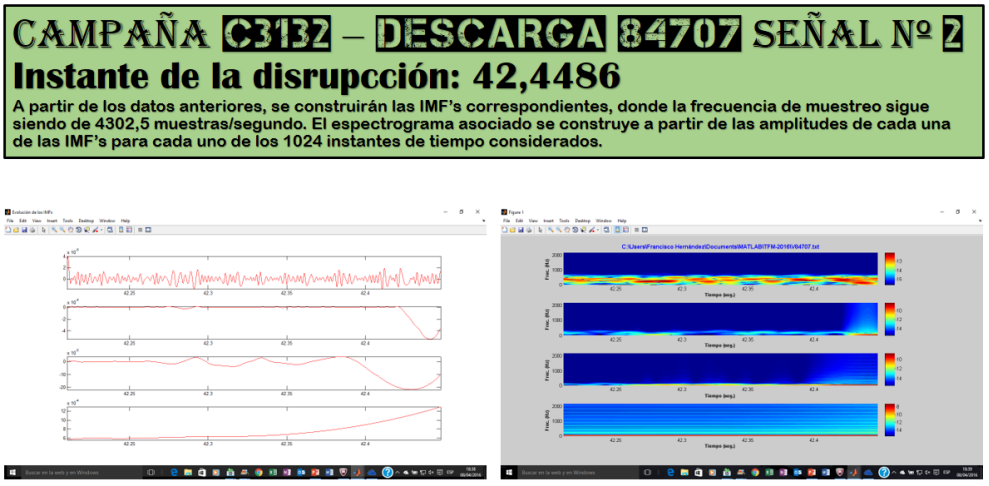




(2) Para la descarga 84707 con interpolación.



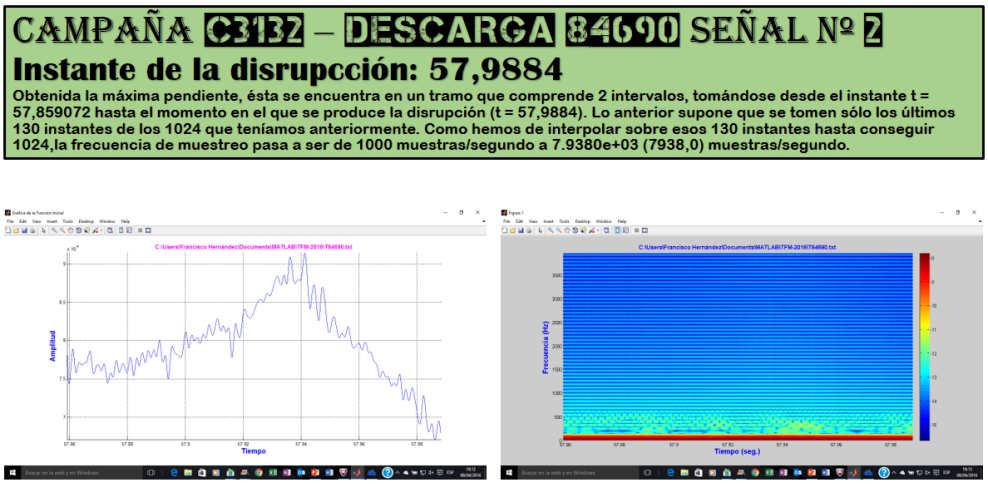
(3) Para la descarga 84707, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



(1) Para la descarga 84690 original.

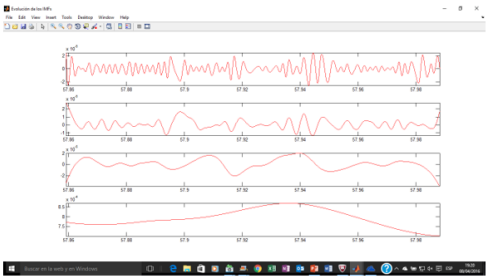


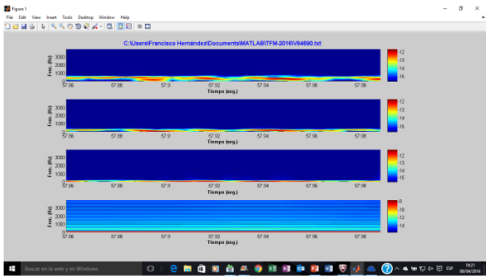
(2) Para la descarga 84690 con interpolación.



(3) Para la descarga 84690, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

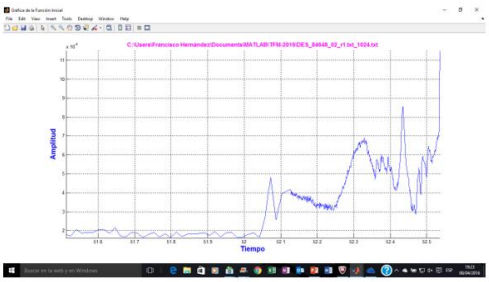
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84690 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 57,9884
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 7938,0 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

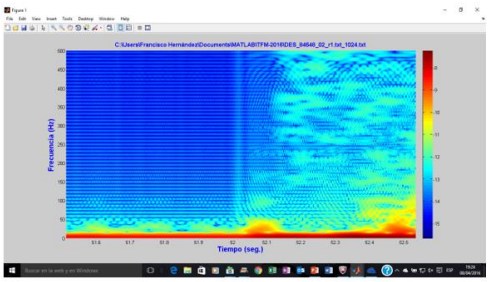




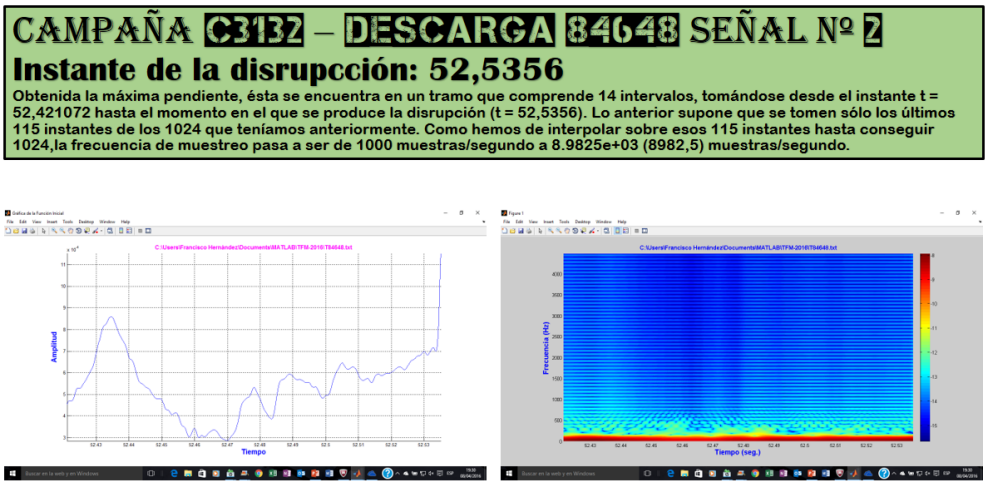
(1) Para la descarga 84648 original.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84648 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 52,5356

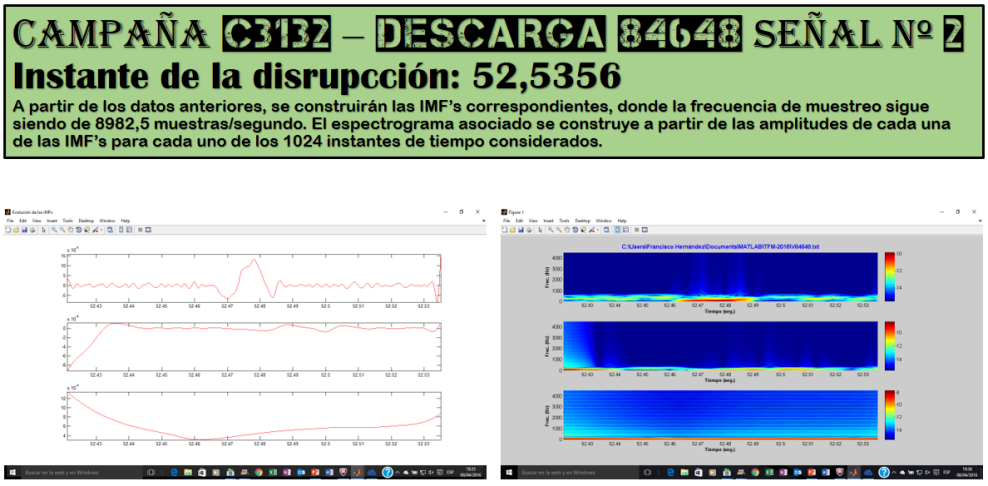




(2) Para la descarga 84648 con interpolación.



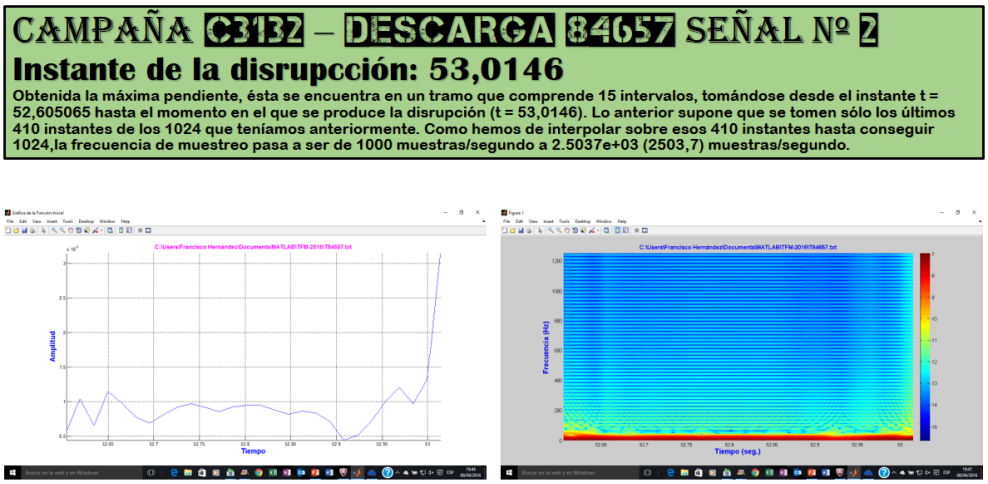
(3) Para la descarga 84648, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



(1) Para la descarga 84657 original.

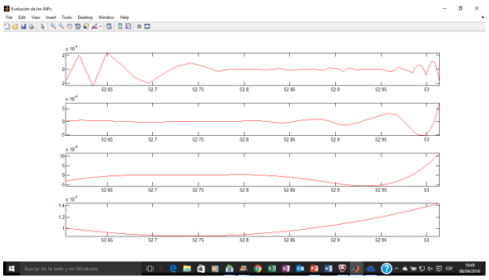


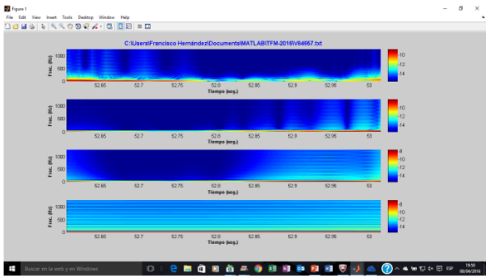
(2) Para la descarga 84657 con interpolación.



(3) Para la descarga 84657, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

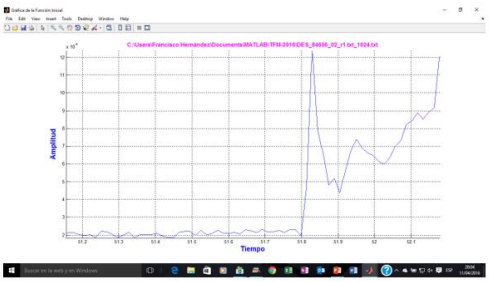
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84657 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 53,0146
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 2503,7 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

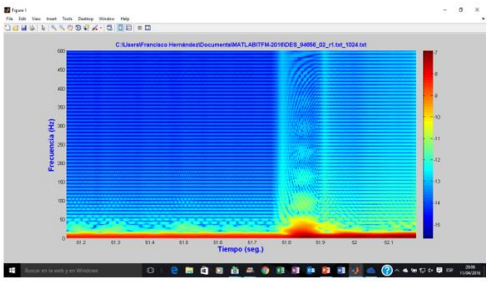




(1) Para la descarga 84656 original.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84656 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 52,1786



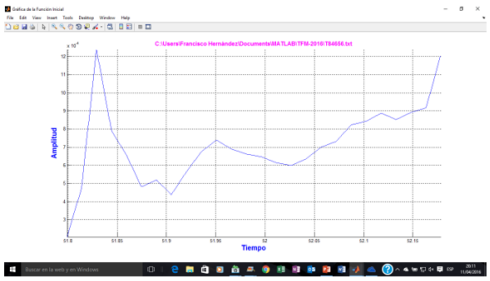


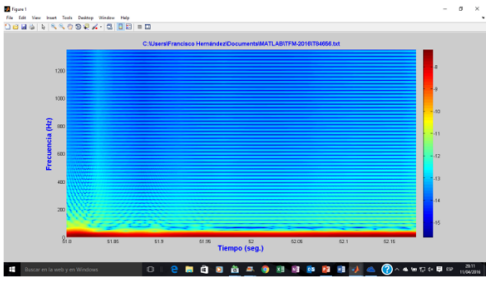
(2) Para la descarga 84656 con interpolación.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84656 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupción: 52,1786

Obtenida la máxima pendiente, ésta se encuentra en un tramo que comprende 31 intervalos, tomándose desde el instante t = 51,799065 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 52,1786). Lo anterior supone que se tomen sólo los últimos 380 instantes de los 1024 que teníamos anteriormente. Como hemos de interpolar sobre esos 380 instantes hasta conseguir 1024,la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1000 muestras/segundo a 2.7018e+03 (2701,8) muestras/segundo.



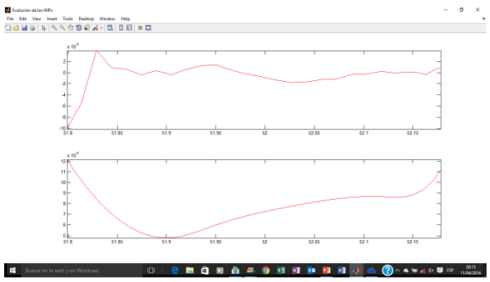


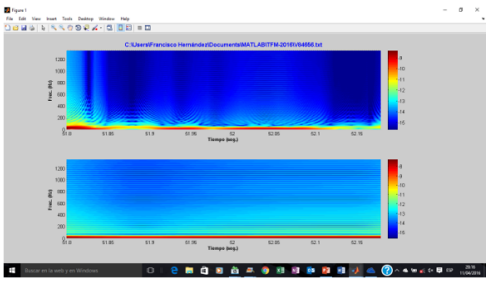
(3) Para la descarga 84656, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84656 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupción: 52,1786

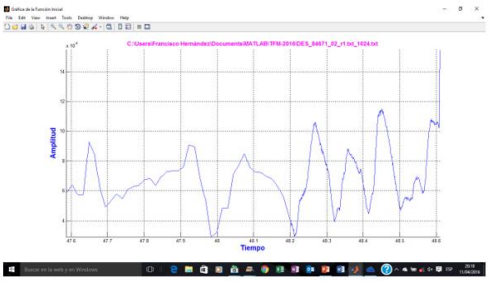
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 2701,8 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

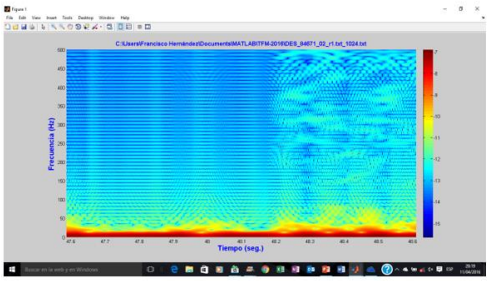




(1) Para la descarga 84671 original.

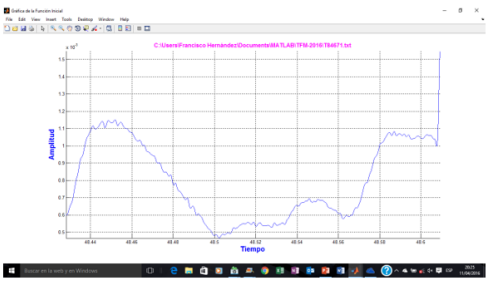
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84671 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 48,6092

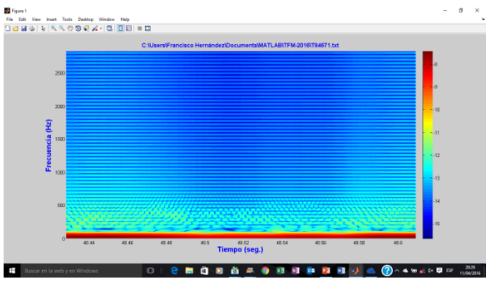




(2) Para la descarga 84671 con interpolación.

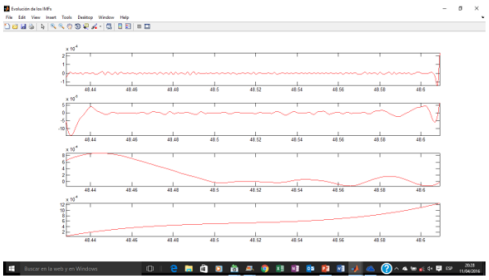
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84671 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 48,6092
Obtenida la máxima pendiente, ésta se encuentra en un tramo que comprende 14 intervalos, tomándose desde el instante t = 48,428080 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 48,6092). Lo anterior supone que se tomen sólo los últimos 182 instantes de los 1024 que teníamos anteriormente. Como hemos de interpolar sobre esos 182 instantes hasta conseguir 1024,la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1000 muestras/segundo a 5.6575e+03 (5657,5) muestras/segundo.

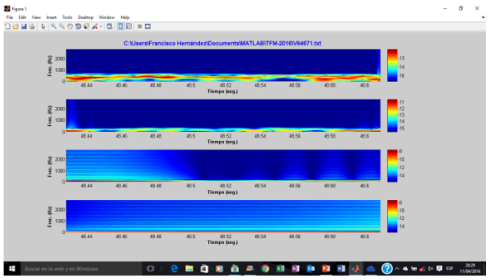




(3) Para la descarga 84671, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

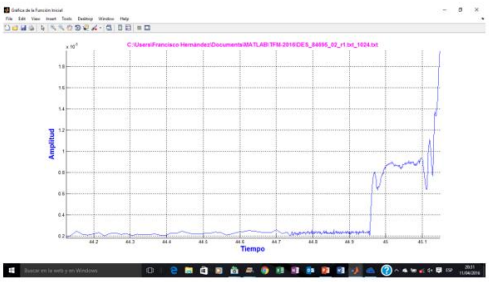
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84671 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 48,6092
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 5657,5 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

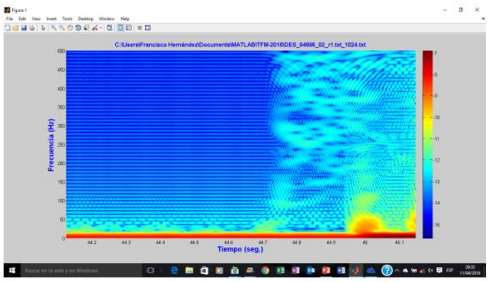




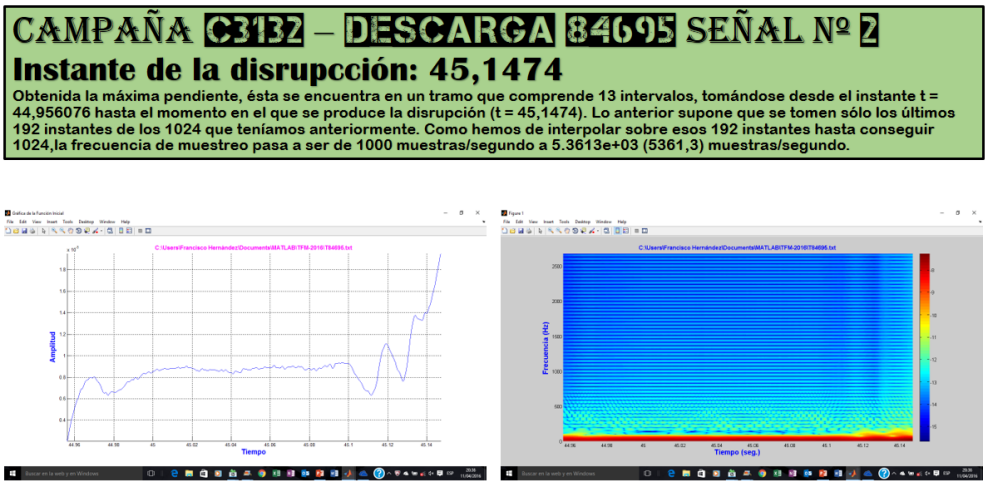
(1) Para la descarga 84695 original.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84695 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 45,1474

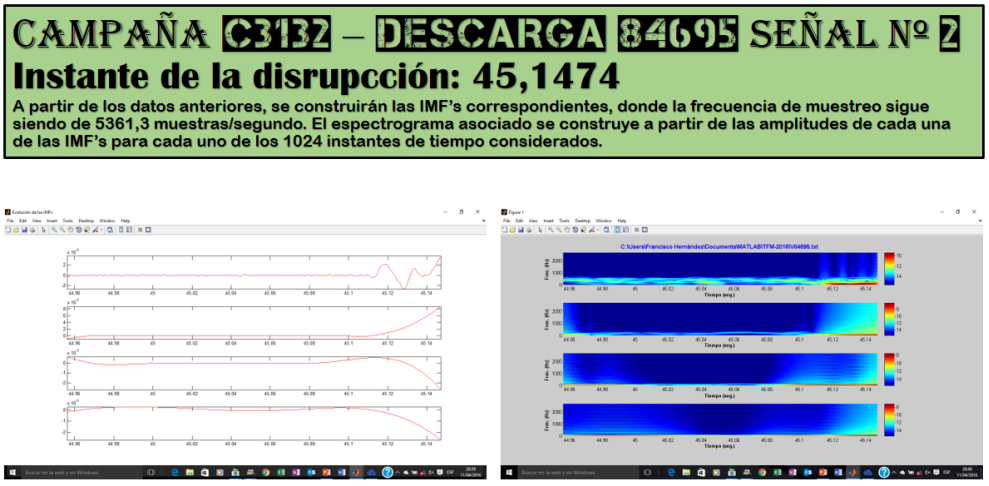




(2) Para la descarga 84695 con interpolación.



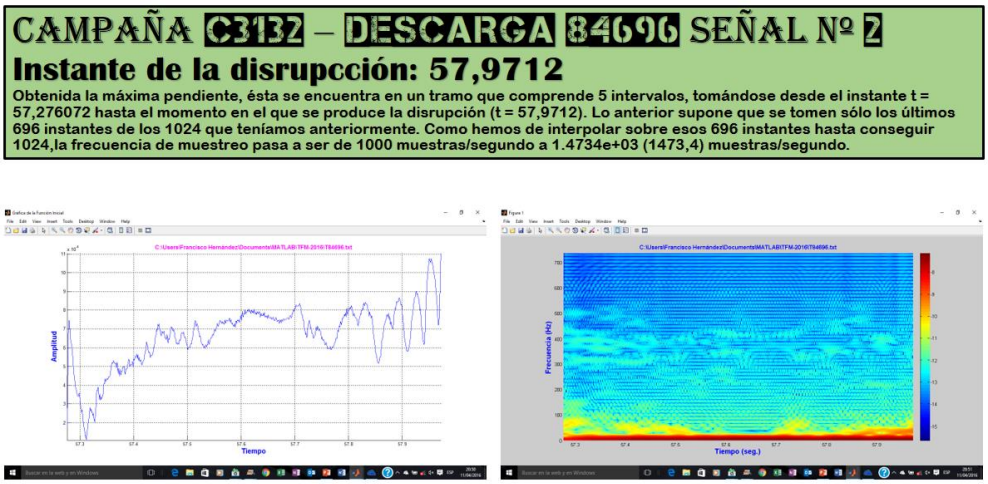
(3) Para la descarga 84695, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



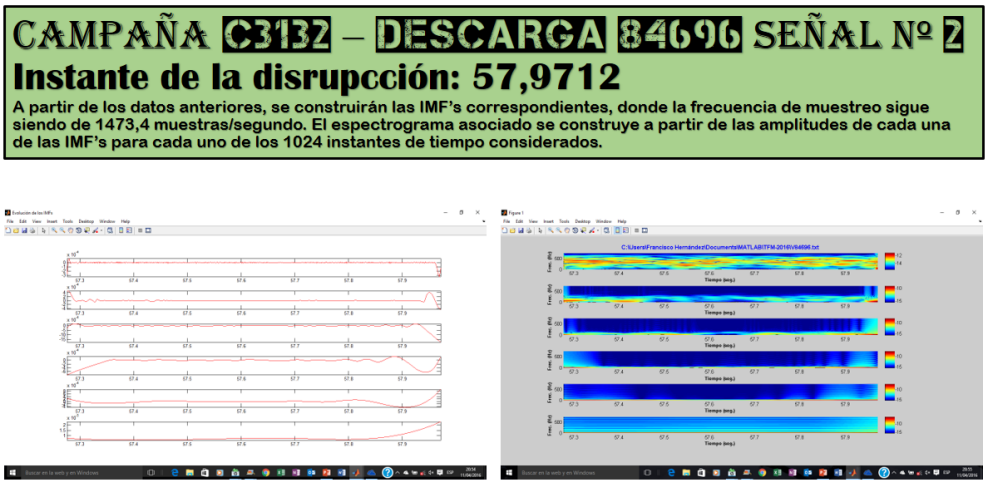
(1) Para la descarga 84696 original.



(2) Para la descarga 84696 con interpolación.



(3) Para la descarga 84696, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



(1) Para la descarga 84628 original.

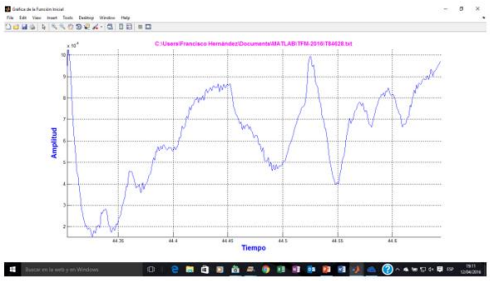


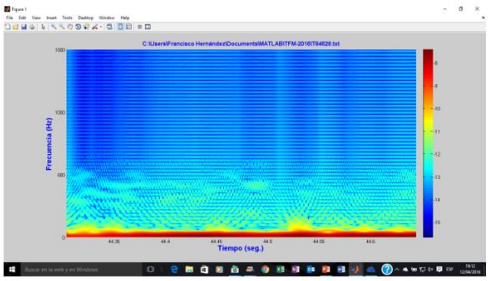
(2) Para la descarga 84628 con interpolación.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84628 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupcción: 44,6445

Obtenida la máxima pendiente, ésta se encuentra en un tramo que comprende 2 intervalos, tomándose desde el instante t = 44,303065 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 44,6445). Lo anterior supone que se tomen sólo los últimos 342 instantes de los 1024 que teníamos anteriormente. Como hemos de interpolar sobre esos 342 instantes hasta conseguir 1024,la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1000 muestras/segundo a 3.0029e+03 (3002,9) muestras/segundo.



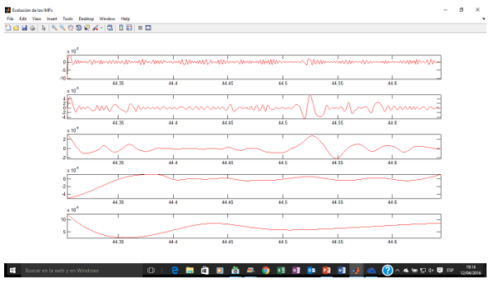


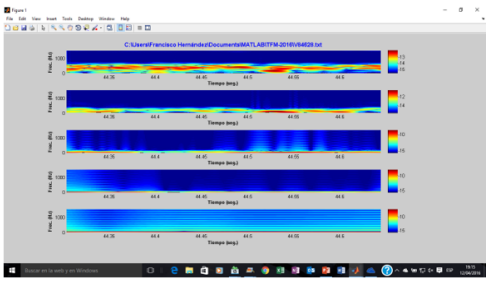
(3) Para la descarga 84628, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84628 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupcción: 44,6445

A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 3002,9 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

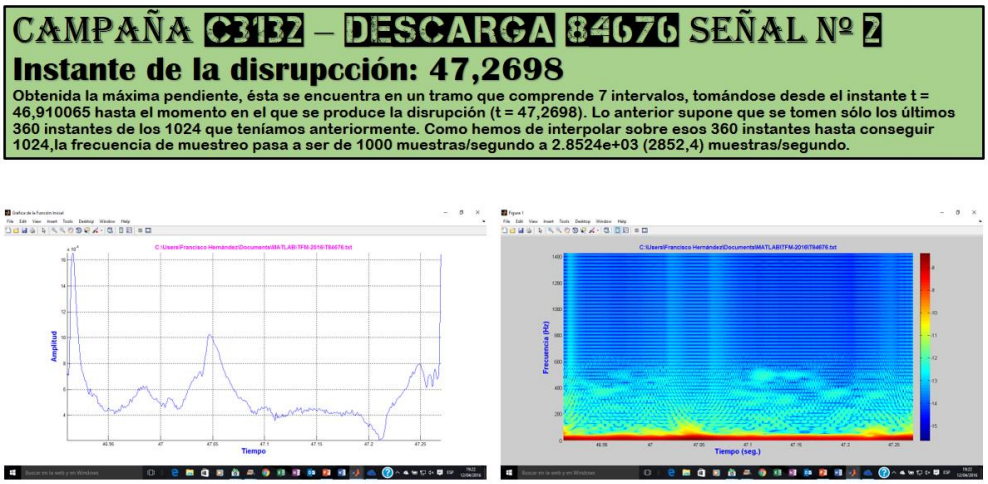




(1) Para la descarga 84676 original.

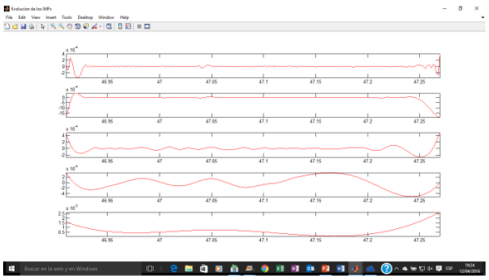


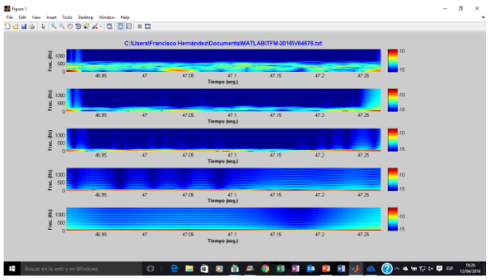
(2) Para la descarga 84676 con interpolación.



(3) Para la descarga 84676, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

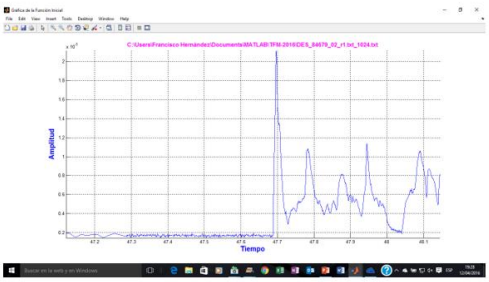
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84676 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 47,2698
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 2852,4 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

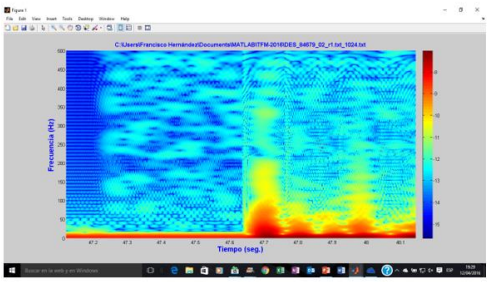




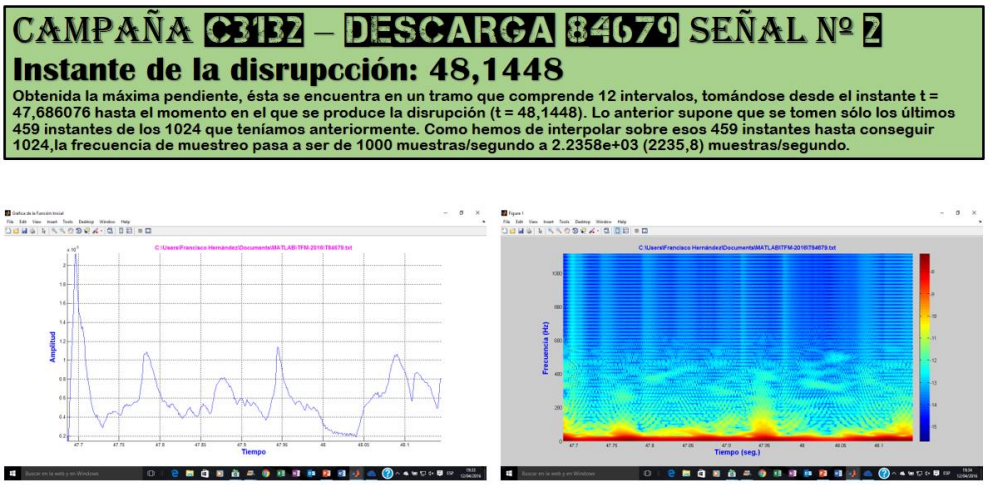
(1) Para la descarga 84679 original.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84679 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 48,1448

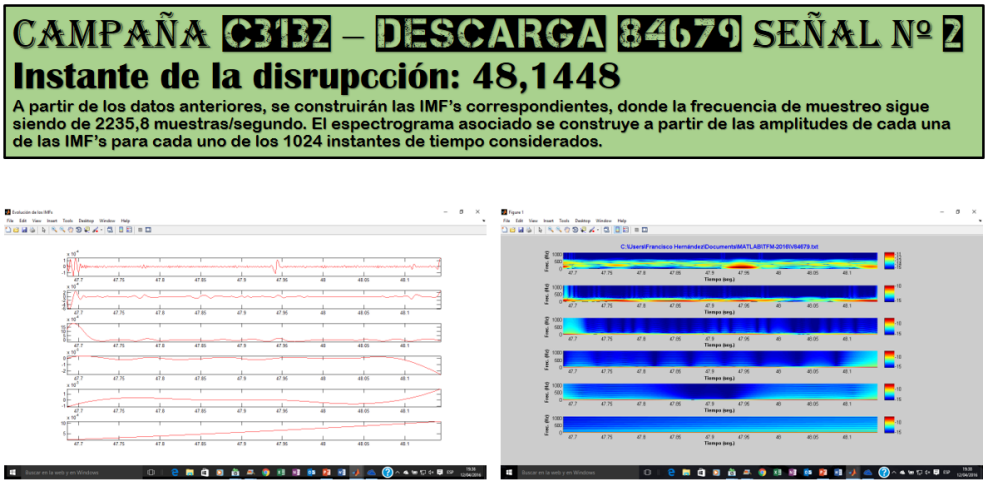




(2) Para la descarga 84679 con interpolación.



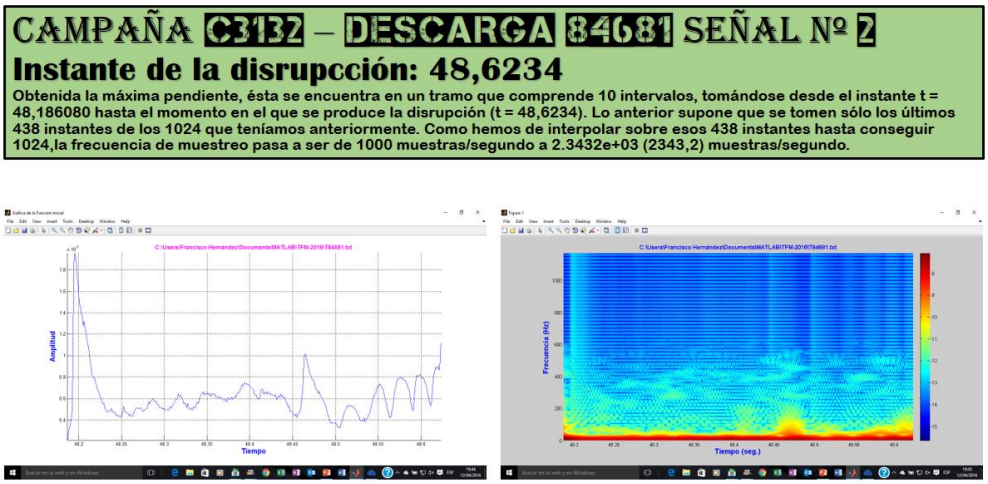
(3) Para la descarga 84679, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



(1) Para la descarga 84681 original.

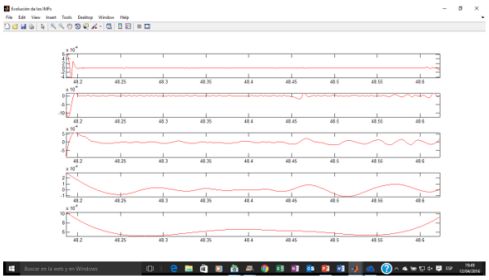


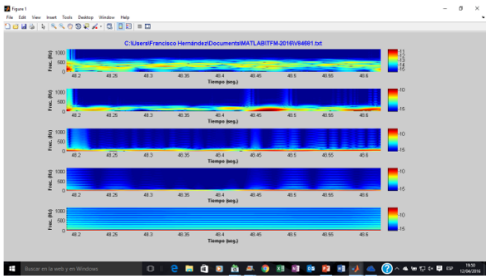
(2) Para la descarga 84681 con interpolación.



(3) Para la descarga 84681, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

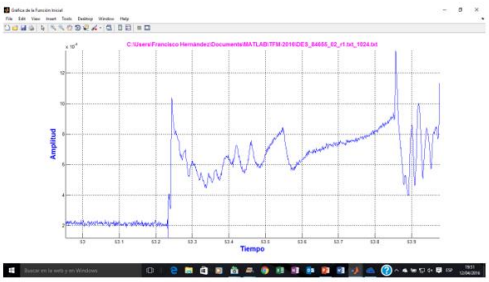
CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84681 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 48,6234
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 2343,2 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.

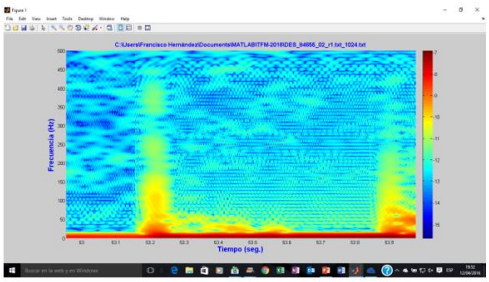




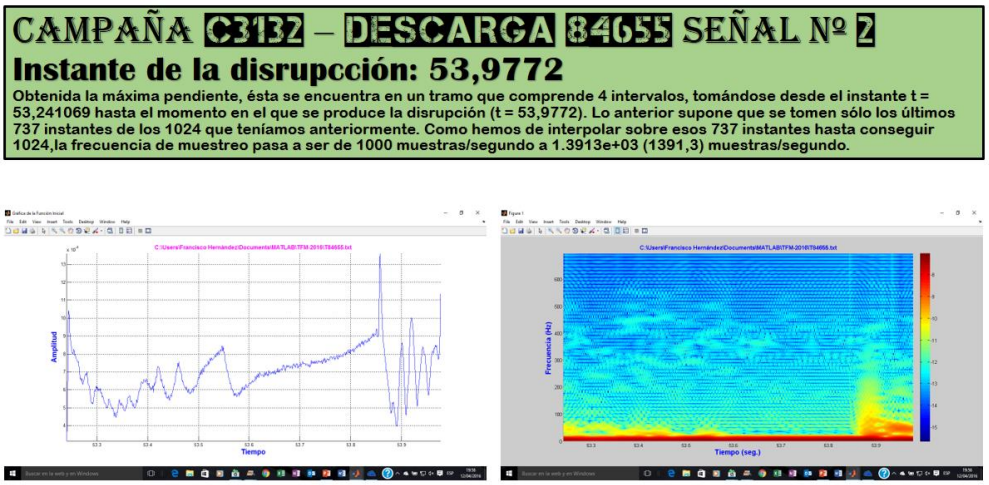
(1) Para la descarga 84655 original.

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84655 SEÑAL Nº 2
Instante de la disrupción: 53,9772

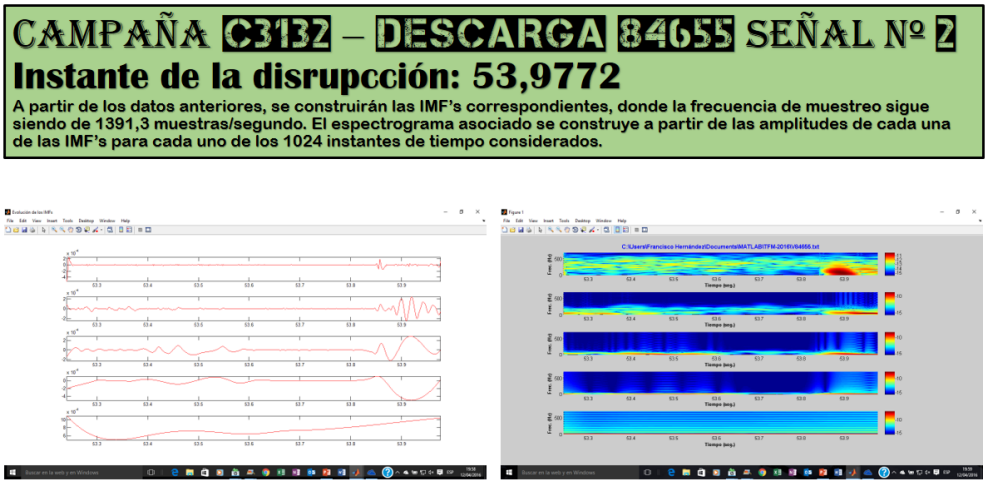




(2) Para la descarga 84655 con interpolación.



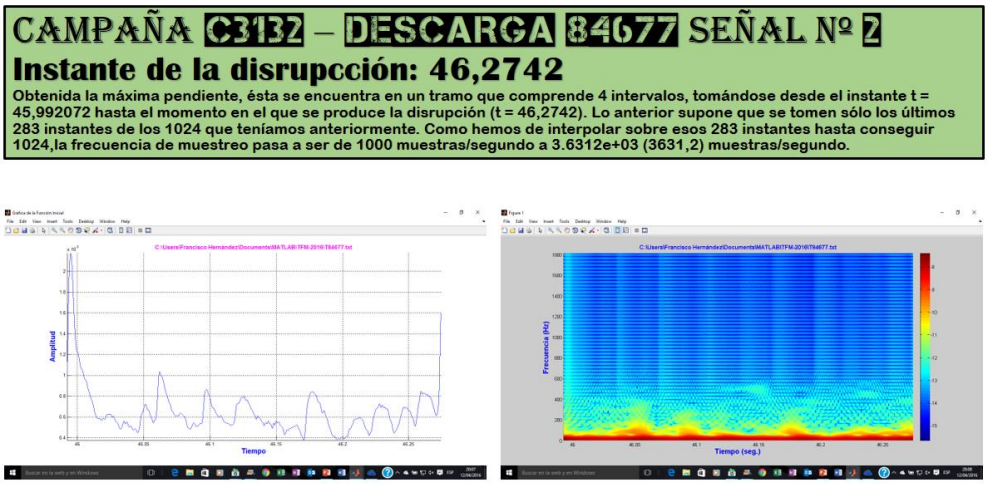
(3) Para la descarga 84655, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].



(1) Para la descarga 84677 original.



(2) Para la descarga 84677 con interpolación.

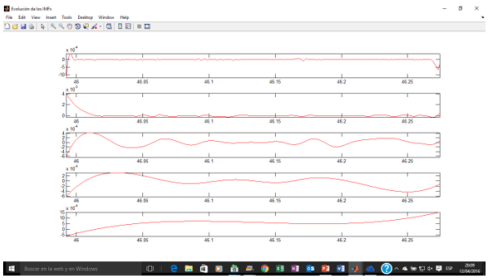


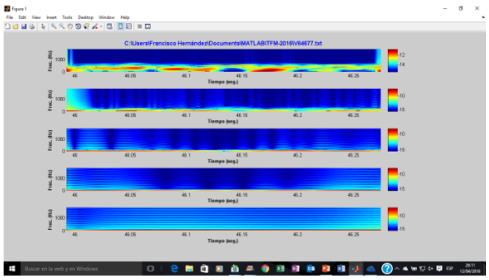
(3) Para la descarga 84677, al ejecutar el algoritimo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

CAMPAÑA C3132 – DESCARGA 84677 SEÑAL Nº 2

Instante de la disrupcción: 46,2742

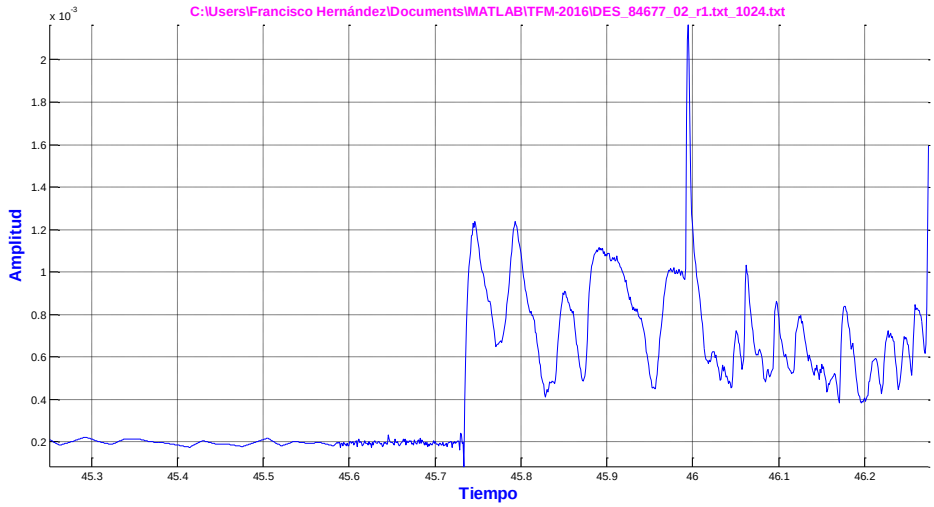
A partir de los datos anteriores, se construirán las IMF's correspondientes, donde la frecuencia de muestreo sigue siendo de 3631,2 muestras/segundo. El espectrograma asociado se construye a partir de las amplitudes de cada una de las IMF's para cada uno de los 1024 instantes de tiempo considerados.



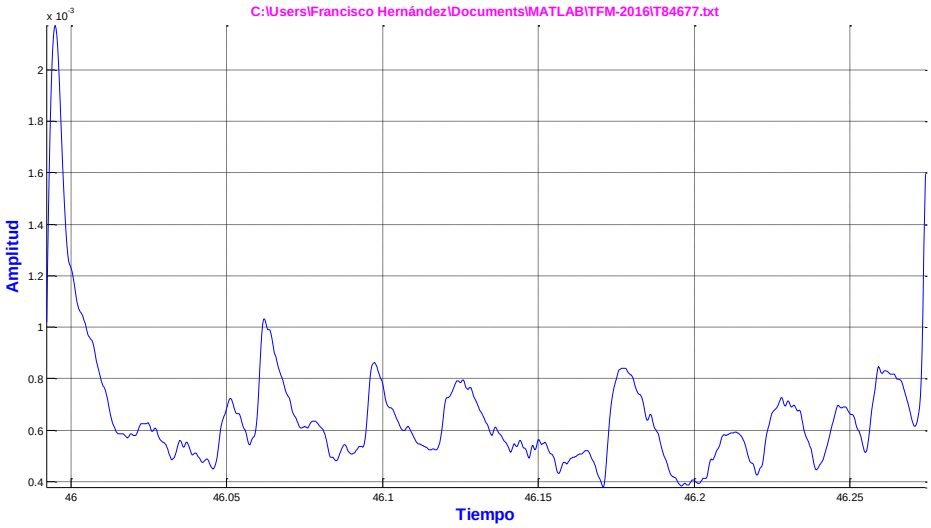


5.5. Análisis detallado del proceso de Descomposición de Modo Empírico para una descarga experimental de JET, teniendo en cuenta el Criterio de la Máxima Pendiente Media como precursor de la disrupción.

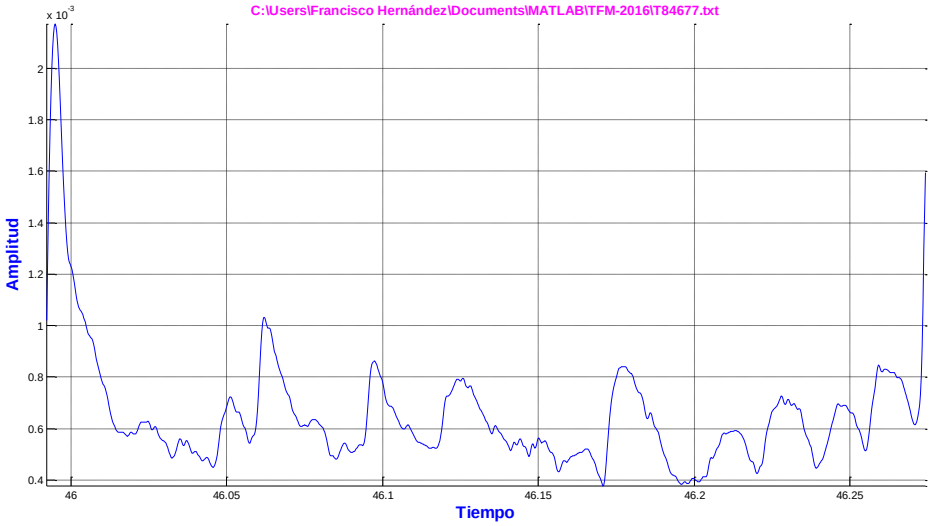
Inicialmente, las últimas 1.024 muestras previas al instante de la disrupción para la descarga 84677, vienen representadas mediante la siguiente gráfica:



Sobre el conjunto de muestras anterior, hay que realizar el filtro de máxima pendiente media, resultando la siguiente gráfica:



Aplicando el algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005] sobre los 1.024 instantes obtenidos a partir de la máxima pendiente media para la descarga 84677, se obtiene la siguiente secuencia; que refleja el comportamiento que experimenta paso a paso dicha descarga (desde el instante considerado). Partimos de:

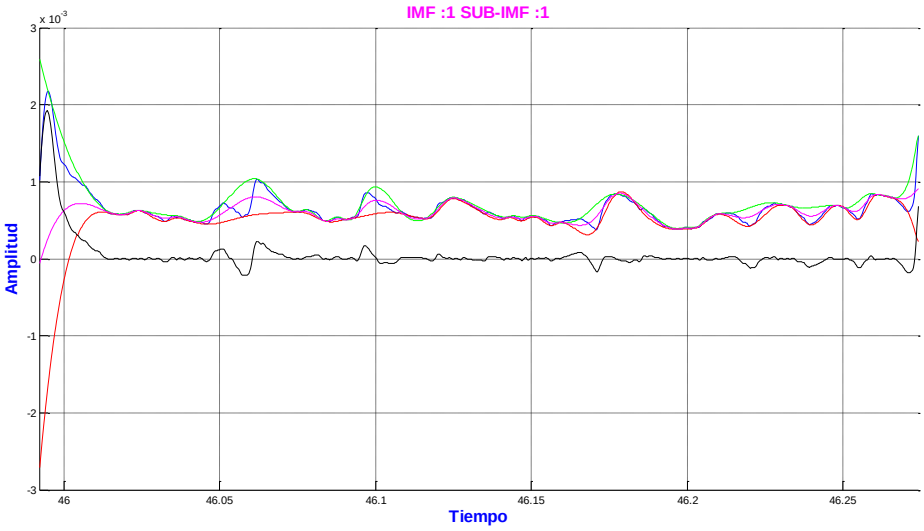


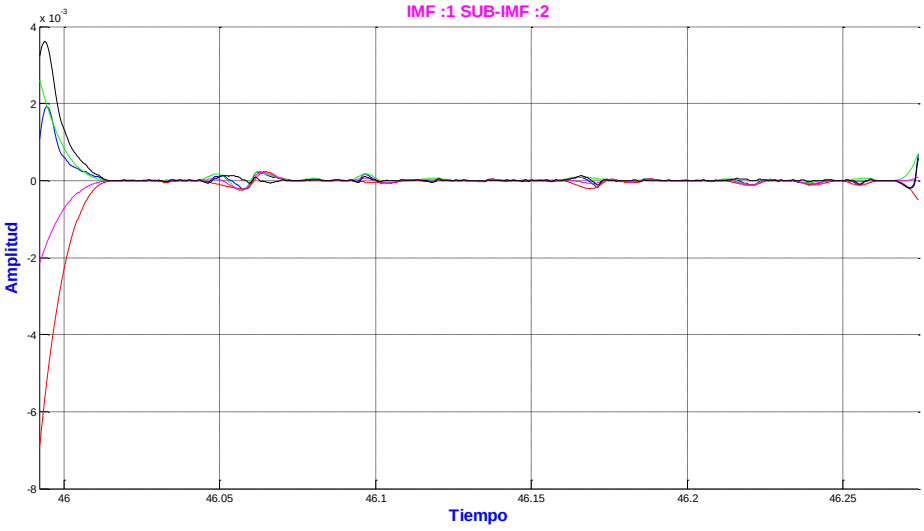
Se ejecutan las siguientes iteraciones mientras el criterio de convergencia SDk > 0,01.

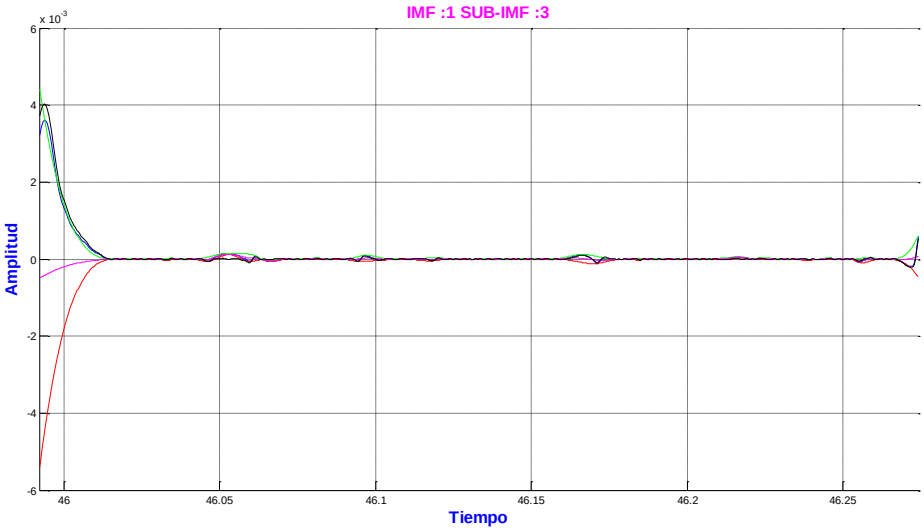
$$SD_k = \frac{\sum_{t=0}^{T} |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^{T} h_{k-1}^2}$$

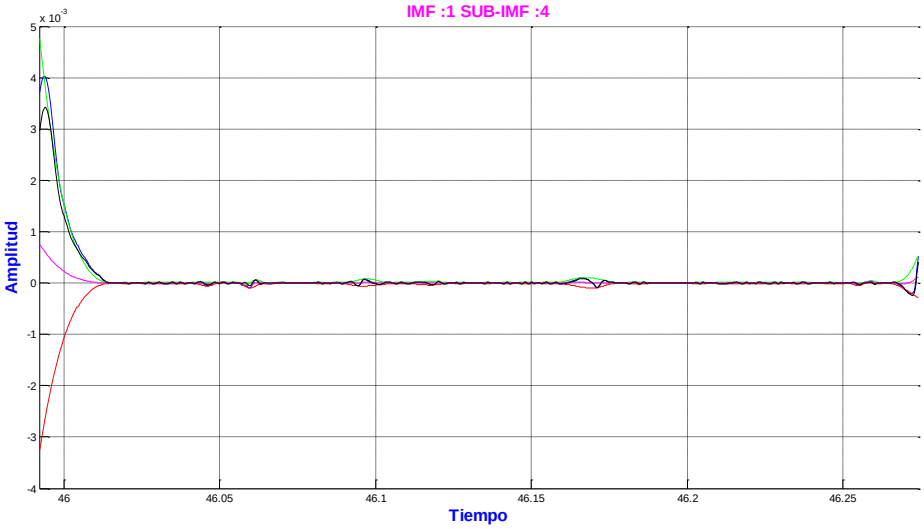
Donde h_{k-1} representa los valores de la función de Hilbert-Huang [Norden 2005] para el ciclo anterior; y h_k representa los valores de la función de Hilbert-Huang [Norden 2005] para el ciclo actual.

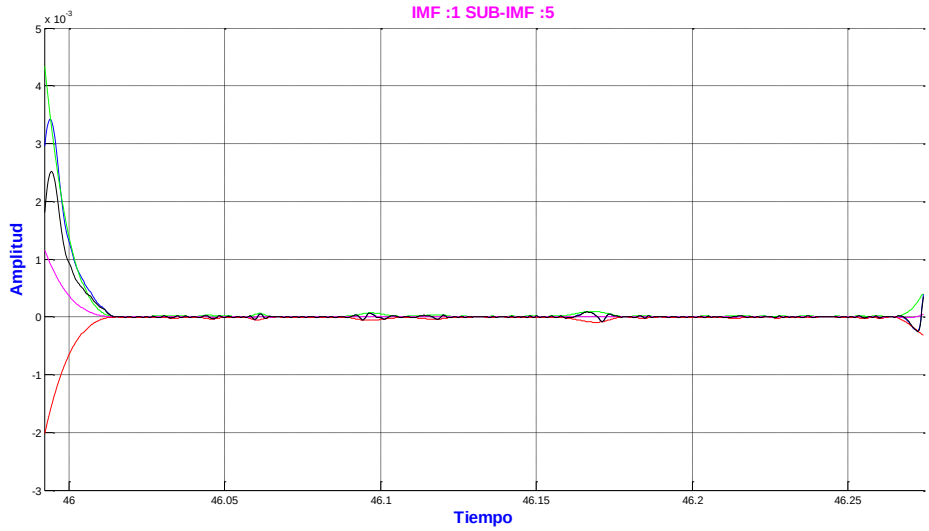
Se producen tantas iteraciones como sea preciso, hasta obtener la primera de las IMF's. Dichas iteraciones nos dan una idea de la evolución del algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

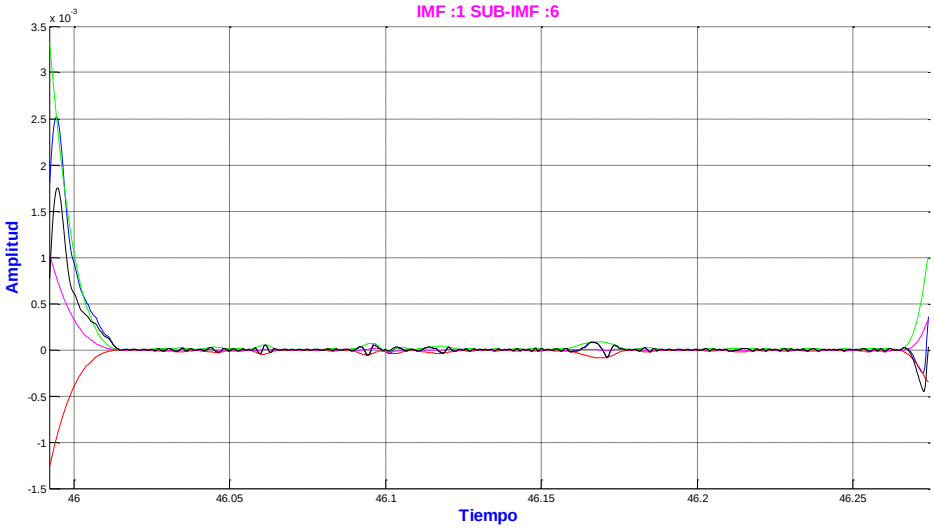


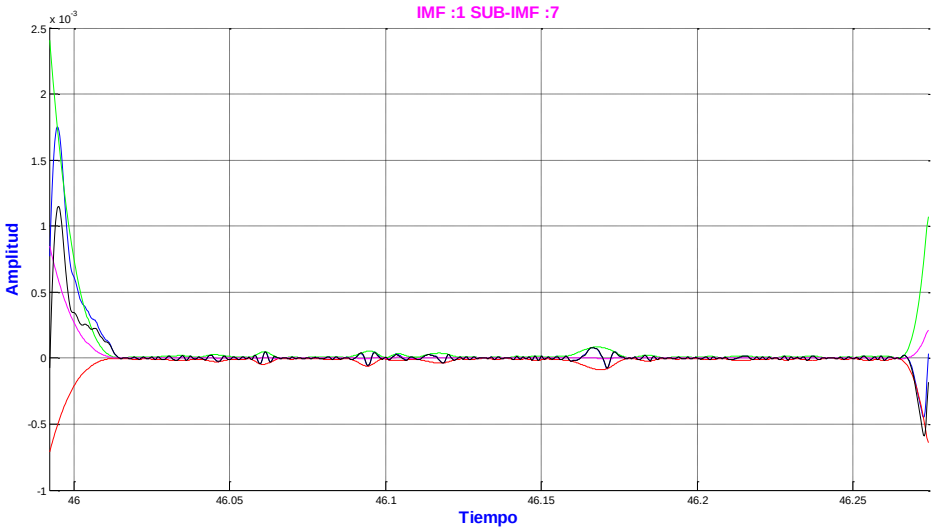


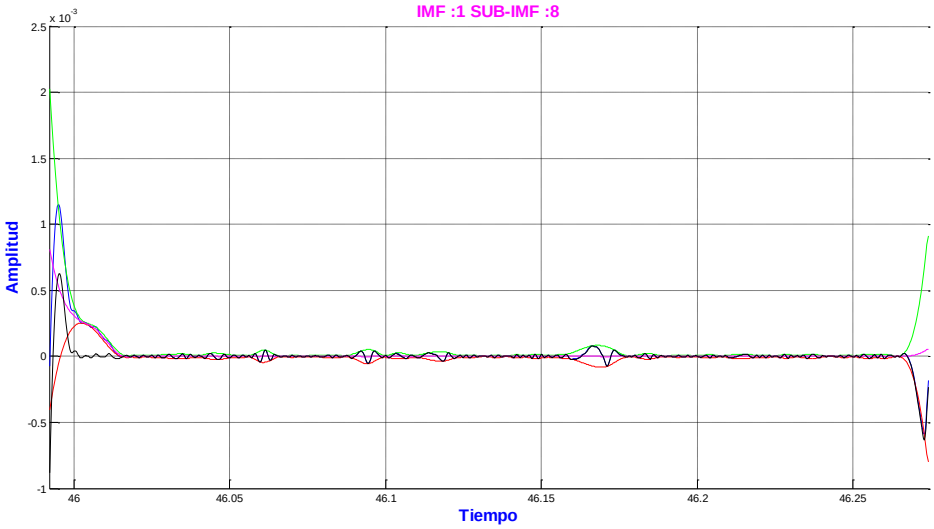

IMF :1 SUB-IMF :3
x 10^-3
6
4
2
0
-2
-4
-6
Amplitud
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo

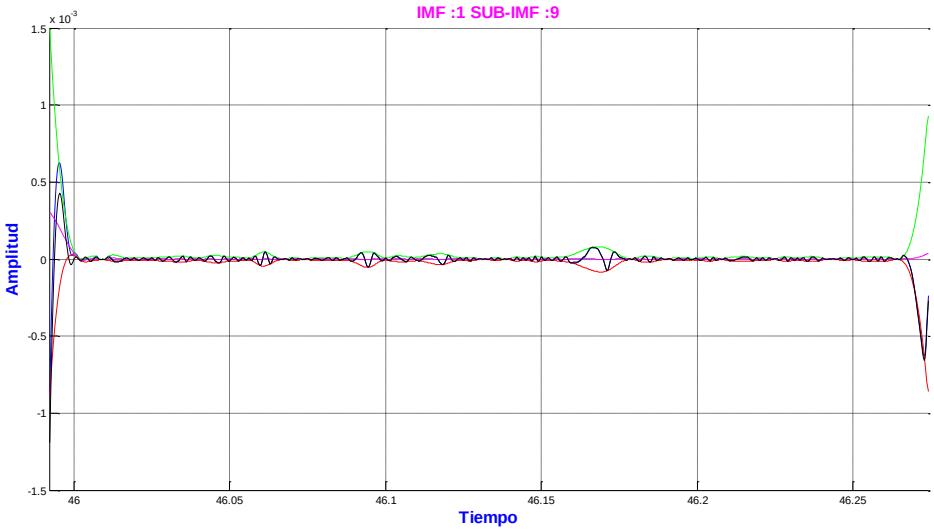

IMF :1 SUB-IMF :4
x 10^-3
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
Amplitud
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo

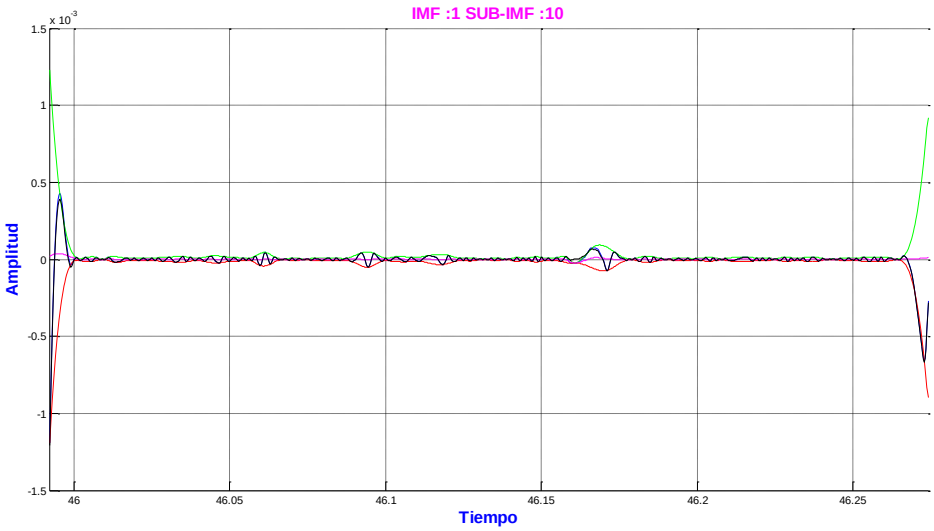

IMF :1 SUB-IMF :5
x 10^-3
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25


IMF :1 SUB-IMF :6
x 10^-3
Amplitud
Tiempo
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

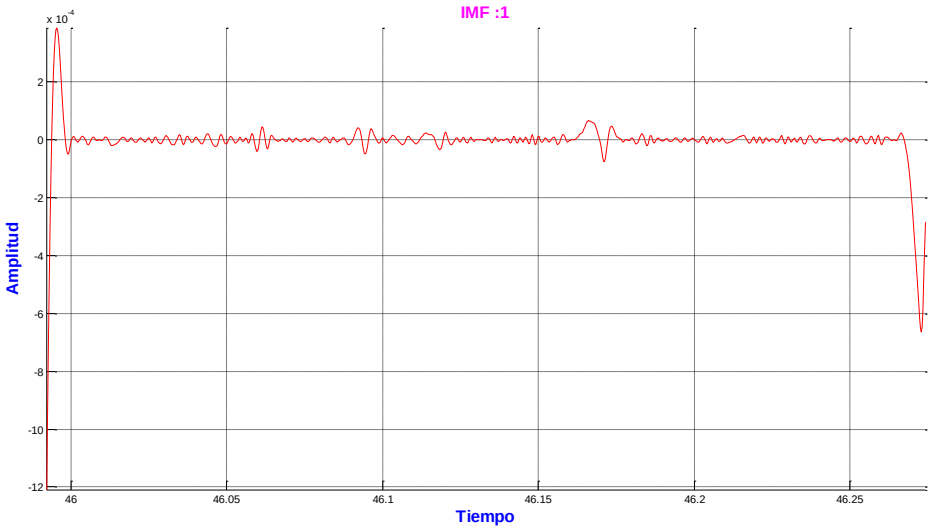

IMF :1 SUB-IMF :7
x 10^-3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
Amplitud
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo


IMF :1 SUB-IMF :8
x 10^-3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
Amplitud
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo

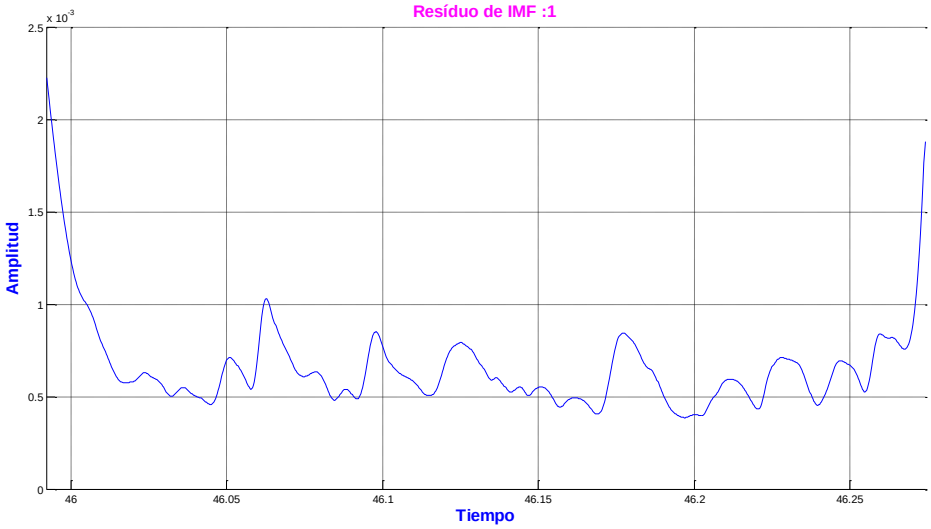

IMF :1 SUB-IMF :9
x 10^-3
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
Amplitud
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo


IMF :1 SUB-IMF :10
x 10^-3
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
Amplitud
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo

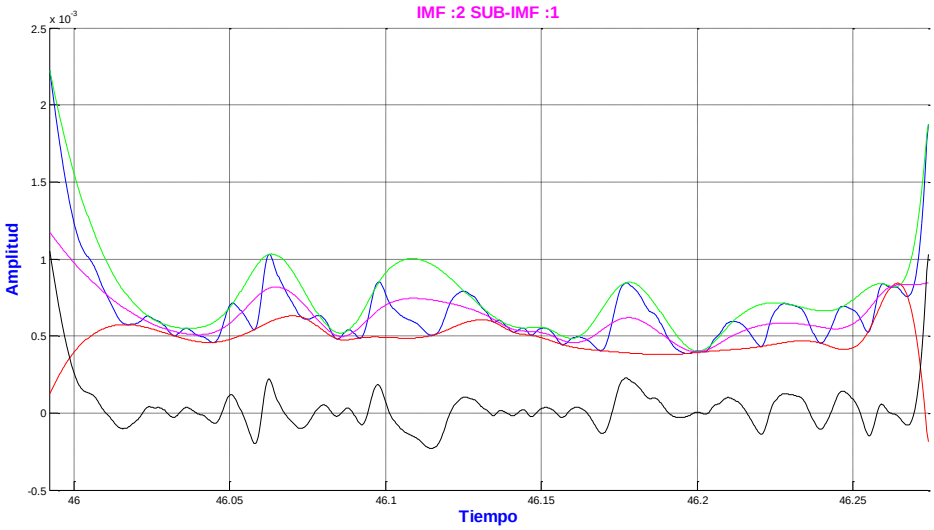
Cuando SDk <= 0,01, se obtiene la primera IMF.

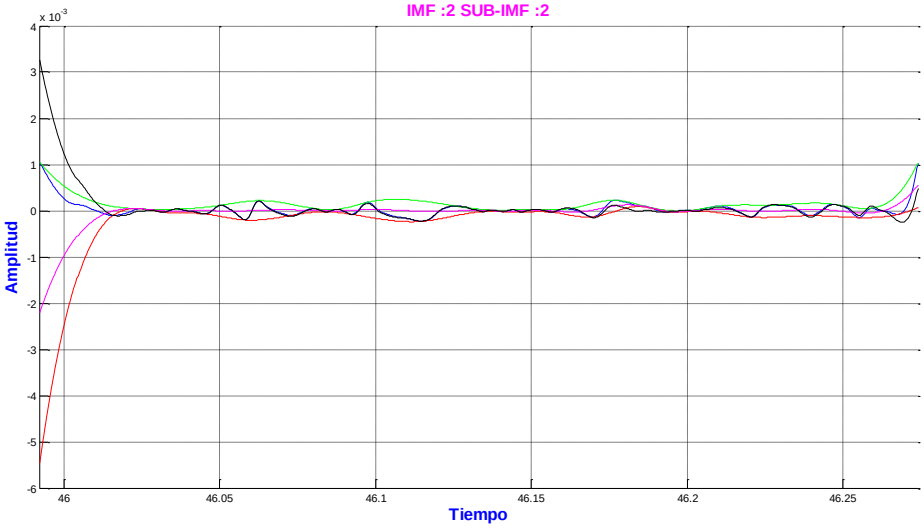


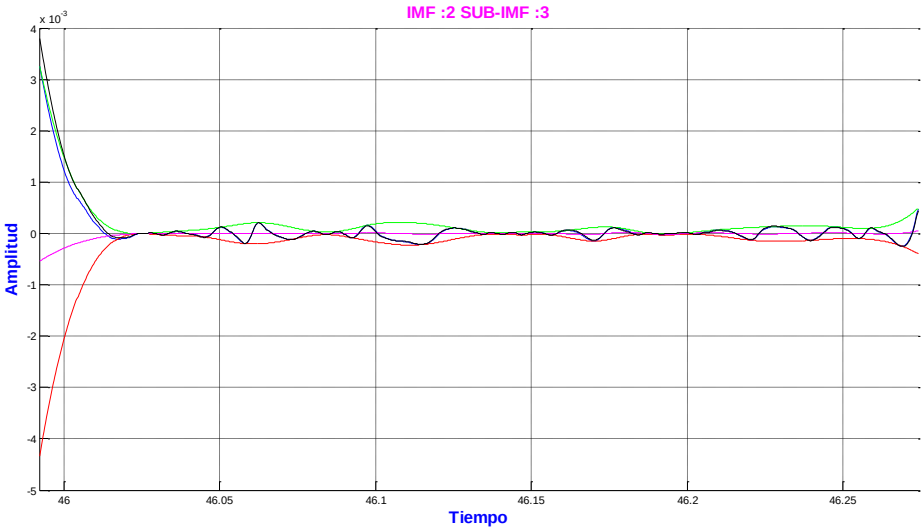
Siendo el residuo resultante:

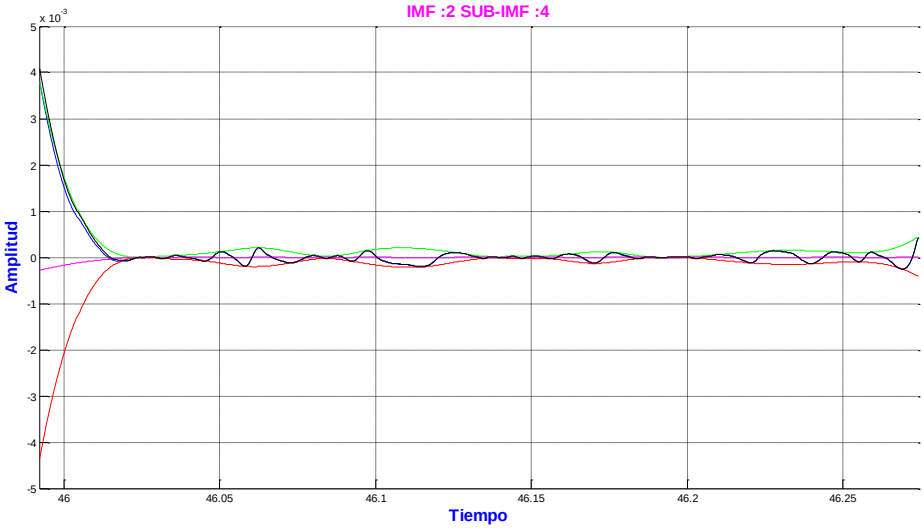


A partir del residuo anterior, se vuelve a iterar nuevamente mientras el criterio de convergencia SDk > 0,01.

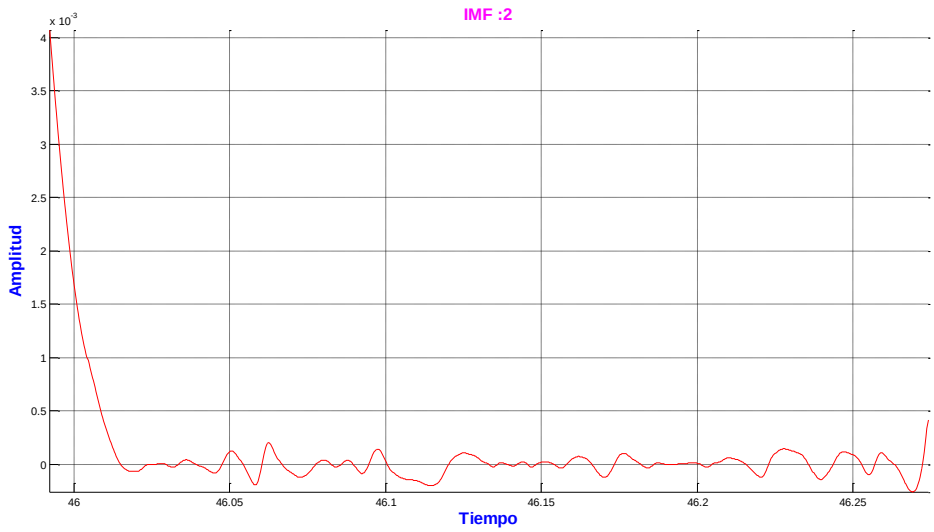




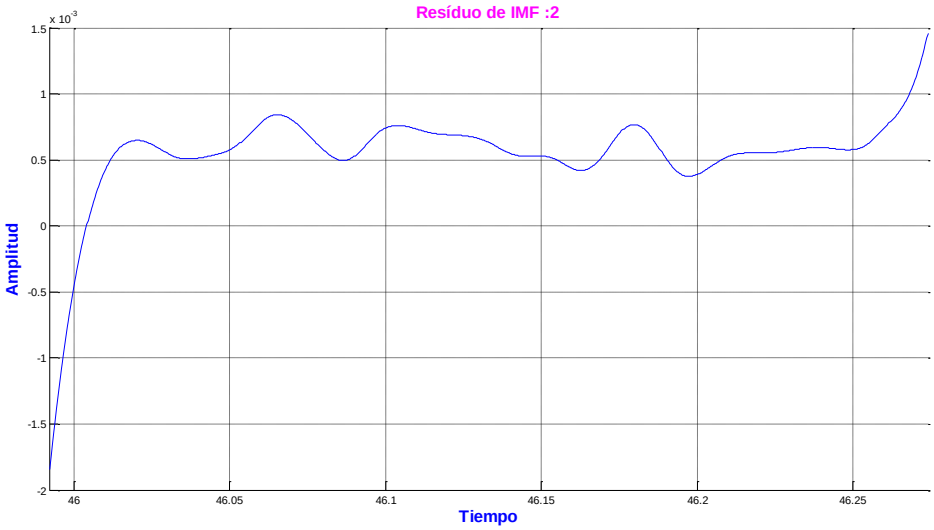

IMF :2 SUB-IMF :3
x 10^-3
Amplitud
Tiempo
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25


IMF :2 SUB-IMF :4
x 10^-3
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

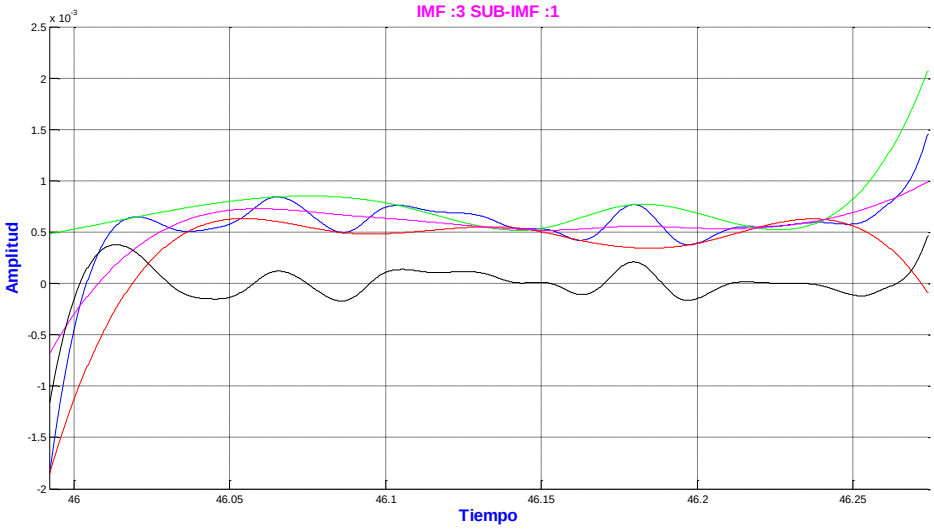
Llegado el momento en el que el criterio de convergencia SDk <= 0,01, se genera la segunda IMF.

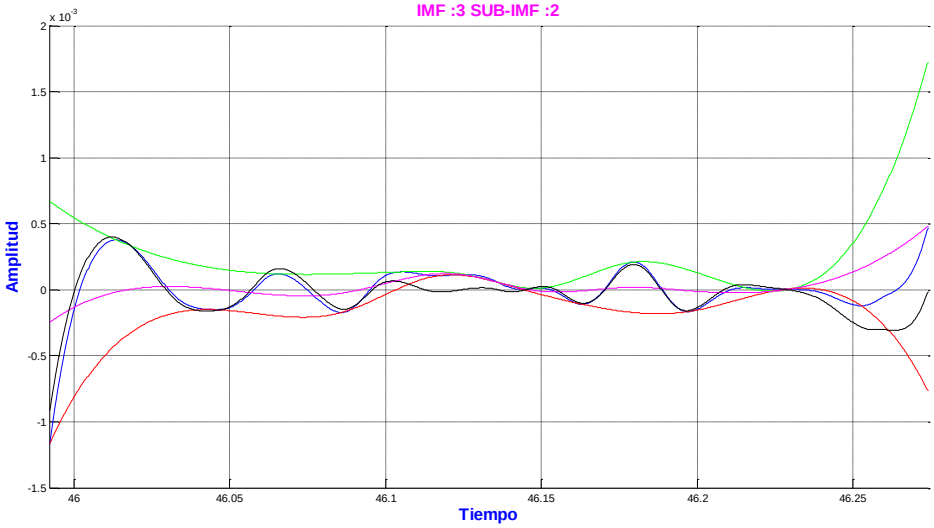


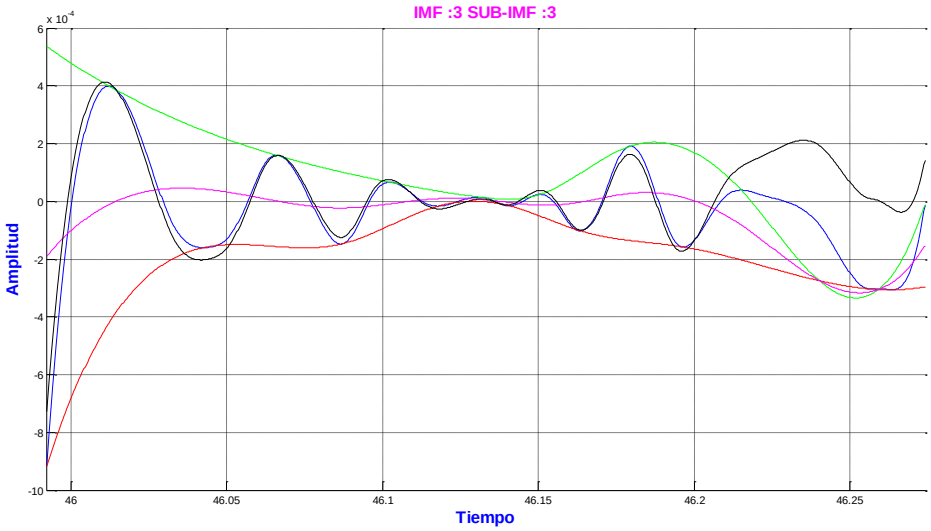
Siendo el residuo resultante:

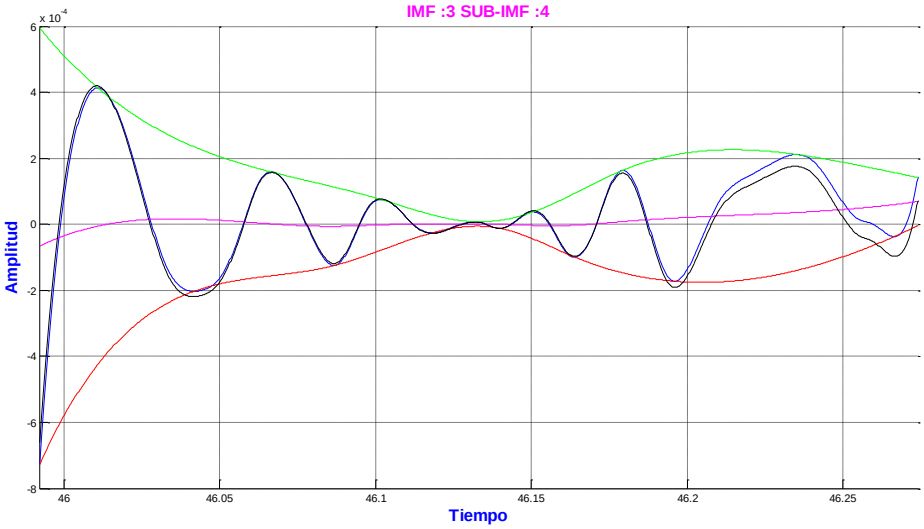


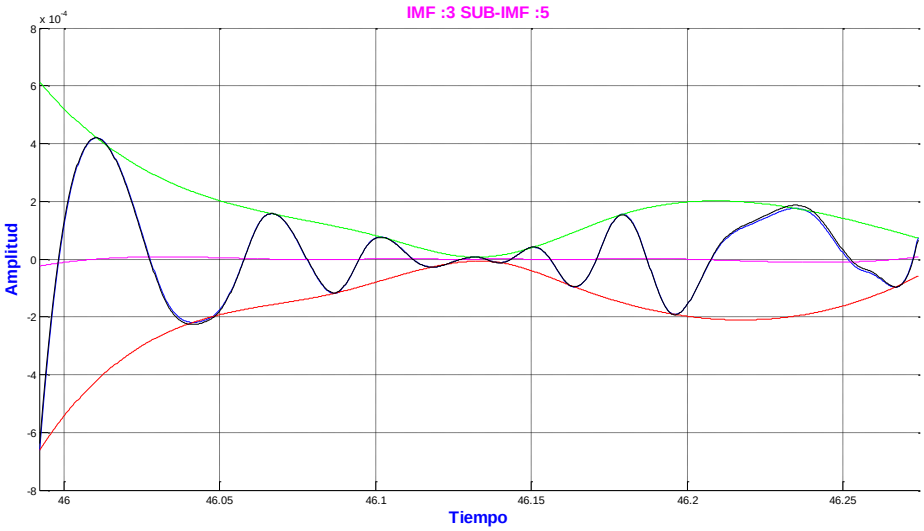
A partir del residuo anterior, se vuelve a iterar nuevamente mientras el criterio de convergencia SDk > 0,01.



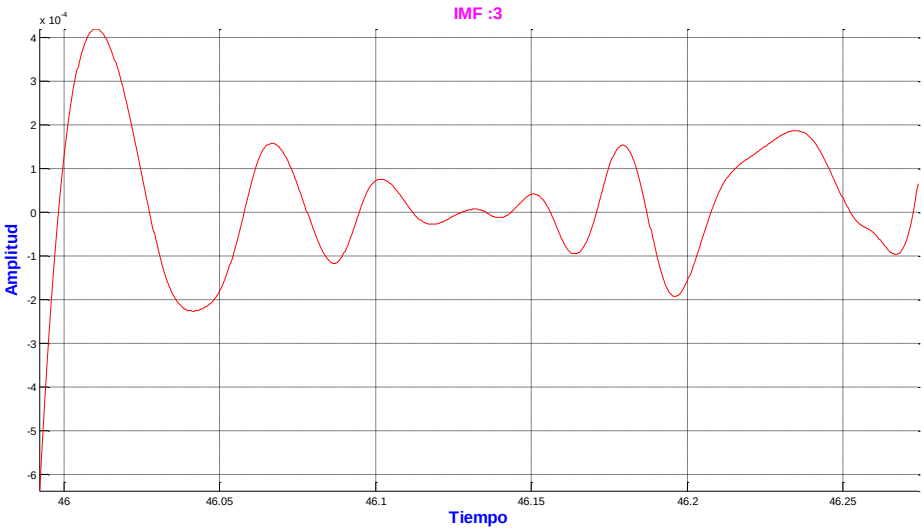



IMF :3 SUB-IMF :3
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

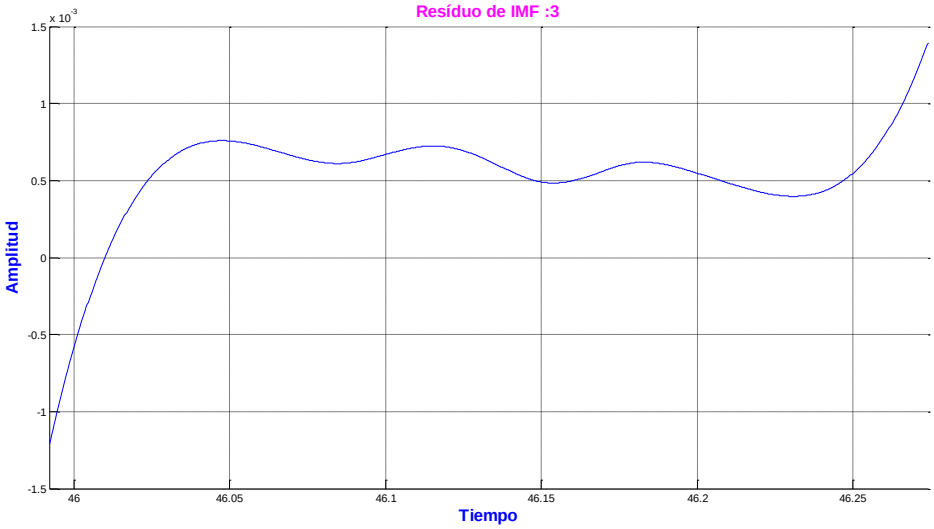

IMF :3 SUB-IMF :4
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25



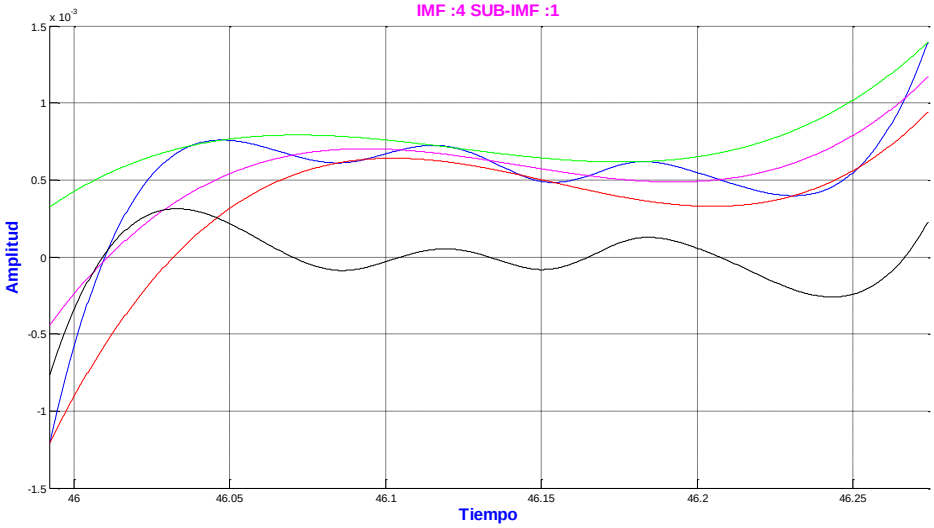
Cuando se llega a SDk <= 0,01, se obtiene la tercera IMF.

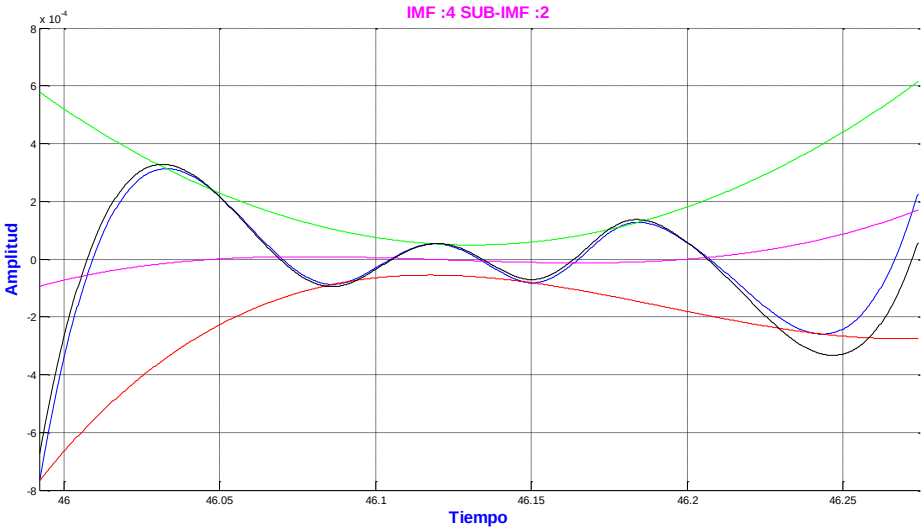


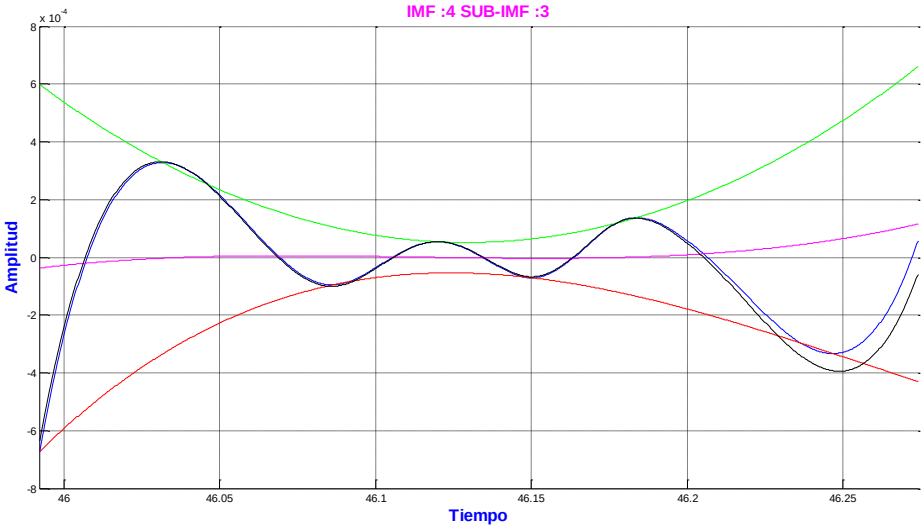
Y su correspondiente residuo.

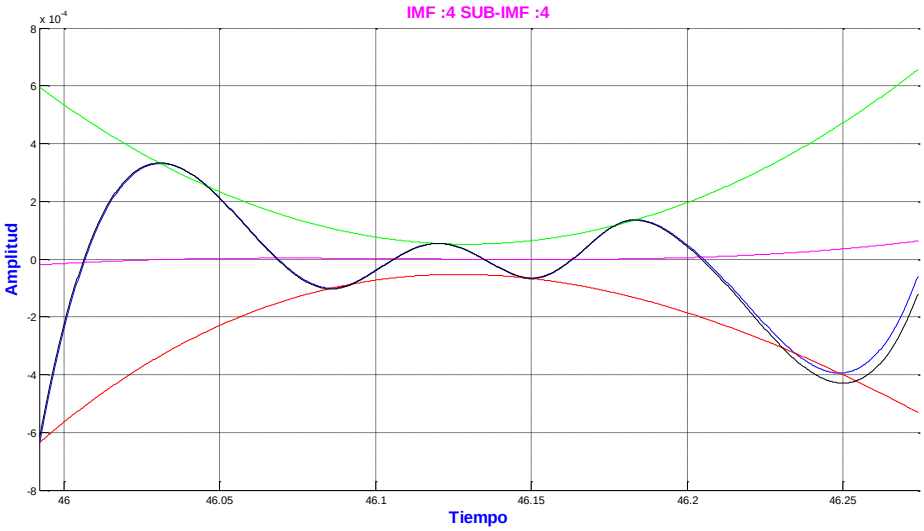


A partir del residuo anterior, se vuelve a iterar nuevamente mientras el criterio de convergencia SDk > 0,01.

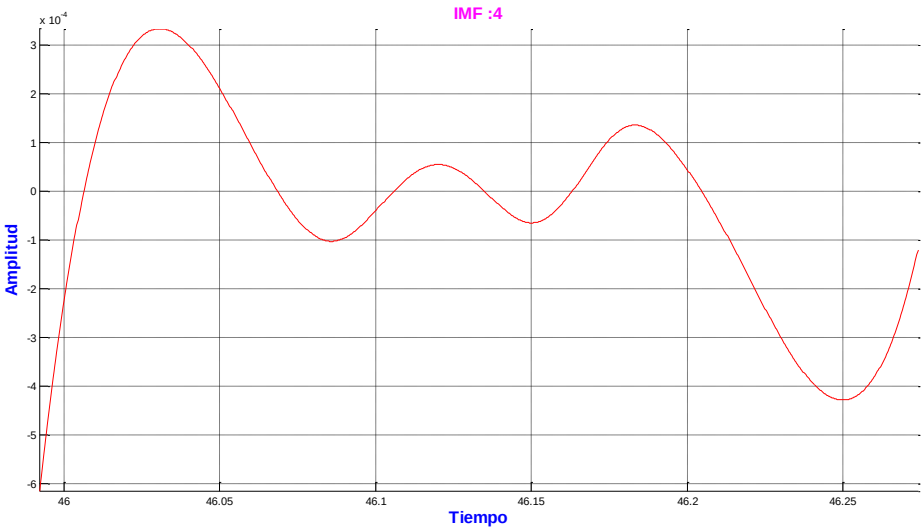



IMF :4 SUB-IMF :2
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

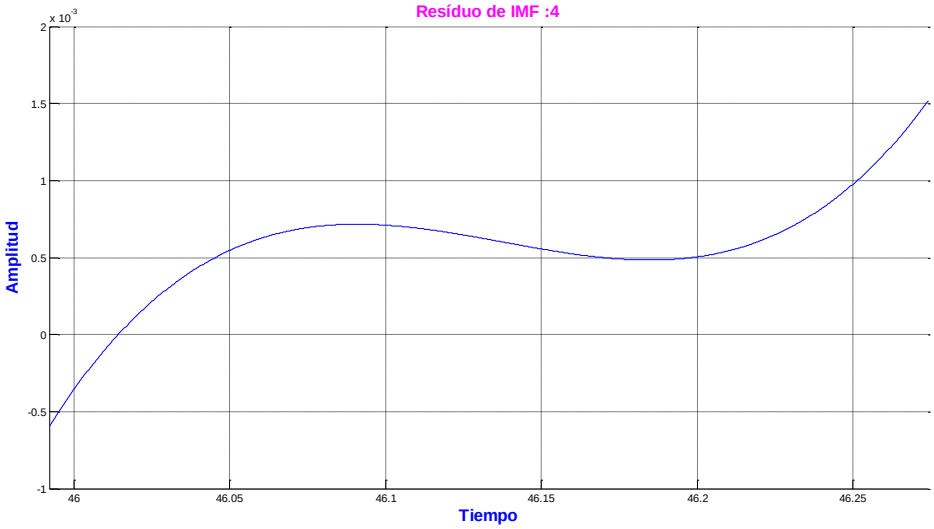

IMF :4 SUB-IMF :3
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25



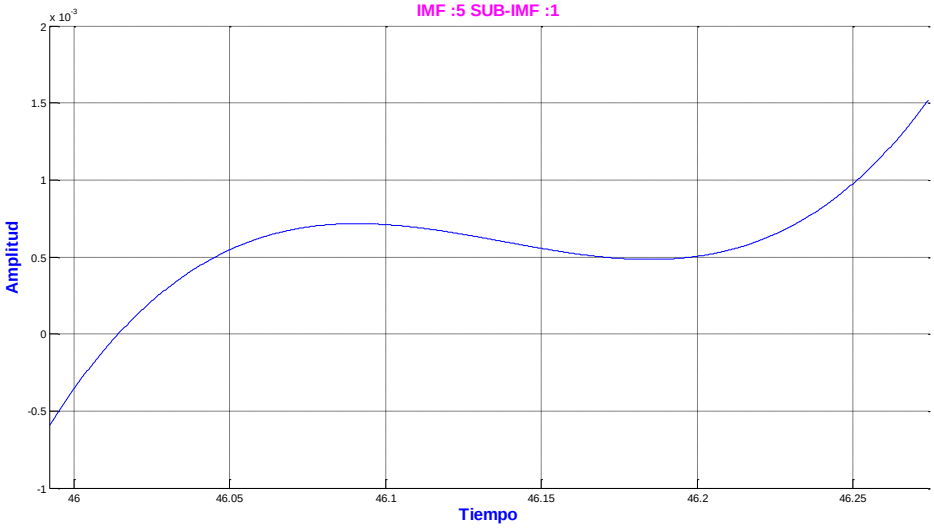
Cuando se obtiene SDk <= 0,01, se obtiene la cuarta IMF.



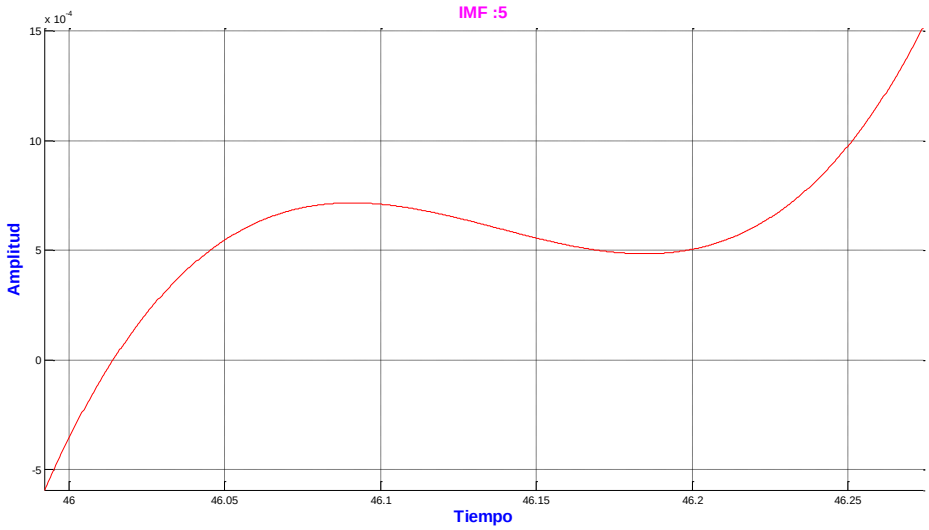
Resultando el siguiente residuo.



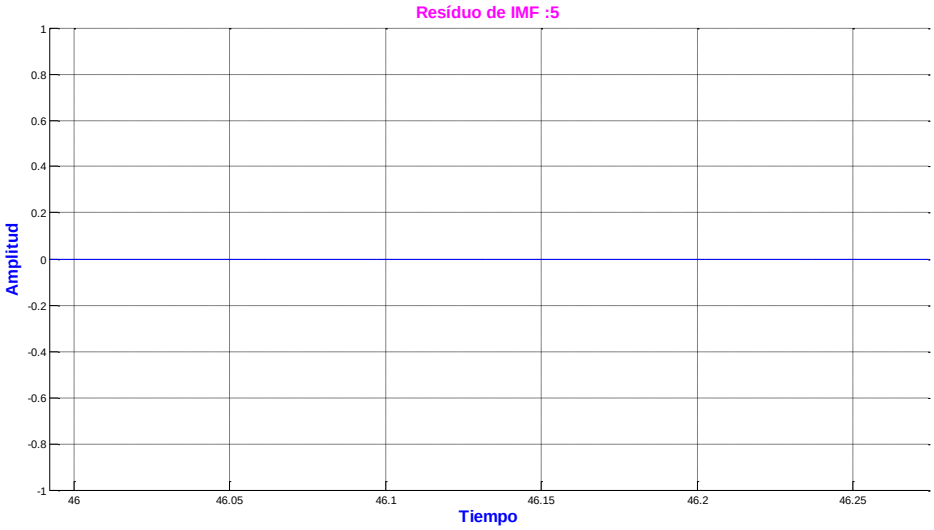
A partir del residuo anterior, se vuelve a iterar nuevamente mientras el criterio de convergencia SDk > 0,01.



No se realizan más iteraciones porque se ha llegado a la condición de parada del algoritmo. Es decir, estamos ante un solo máximo o un solo mínimo; por lo que se obtiene la última IMF.

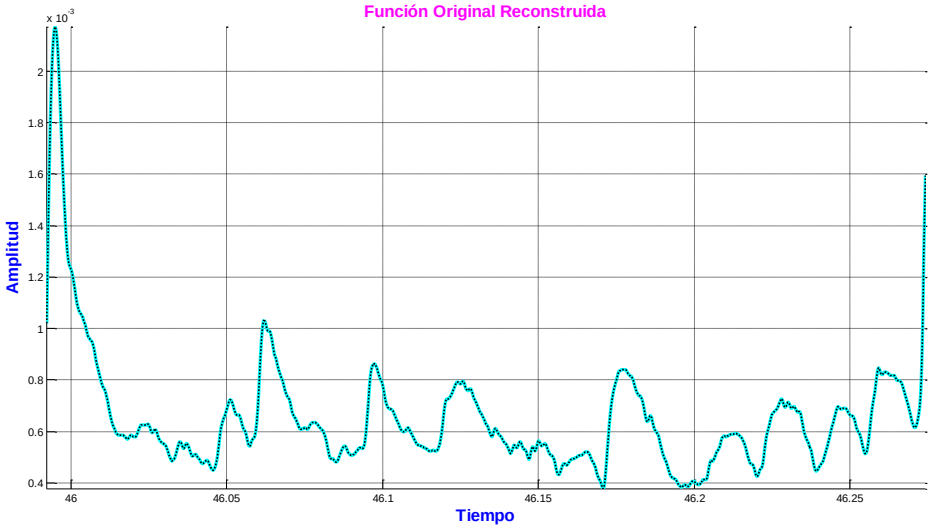


Y el último residuo.

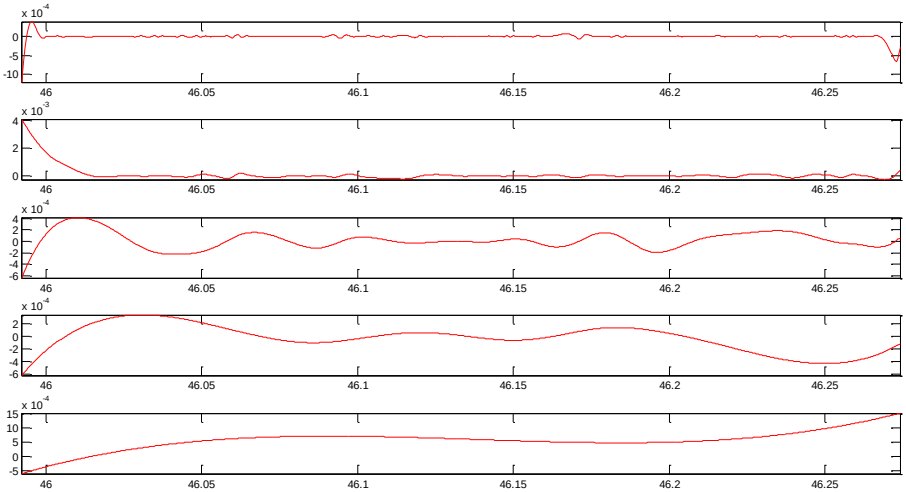


Con los datos de las IMF's obtenidas y del último residuo obtenido, se reconstruye la función. Y se comprueba que coincide la reconstrucción con la función original.

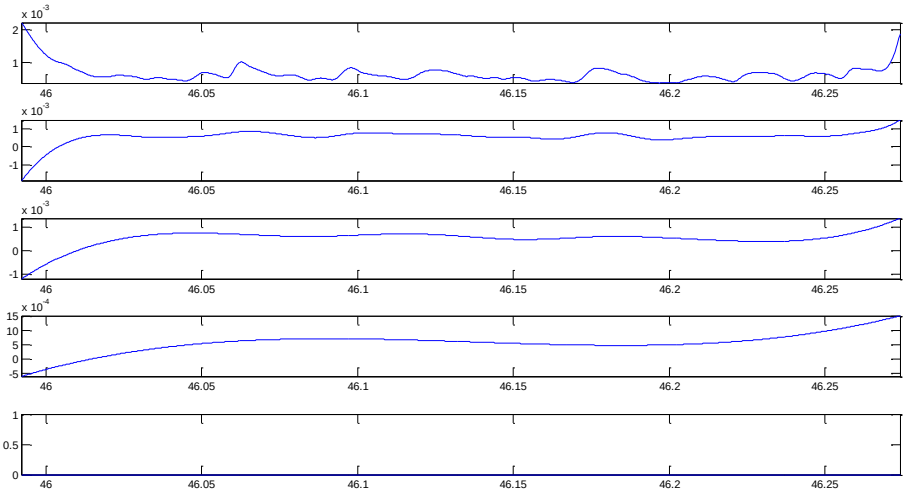
Gráficamente se observa el solapamiento de la línea de color cyan con la línea de puntos negros; por lo que se determina la exactitud de ambas.



Se muestra un resumen de las IMF's obtenidas.

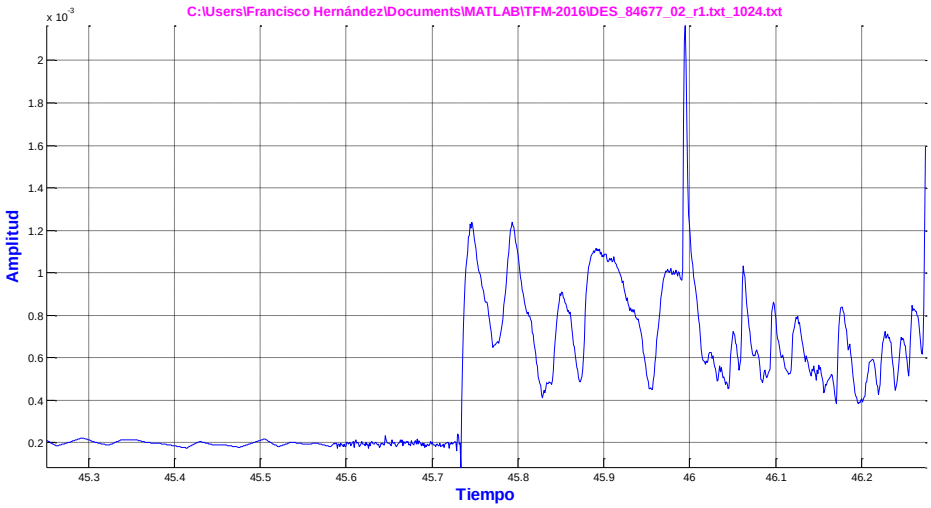


Y finalmente, se muestra un resumen de los residuos obtenidos.

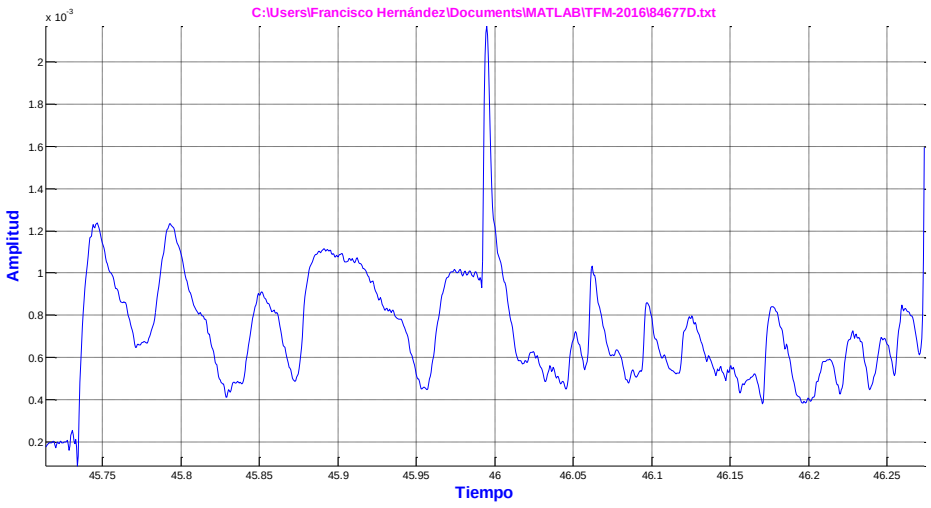


5.6. Análisis detallado del proceso de Descomposición de Modo Empírico para una descarga experimental de JET, teniendo en cuenta el Criterio según el Factor de Outlier como precursor de la disrupción.

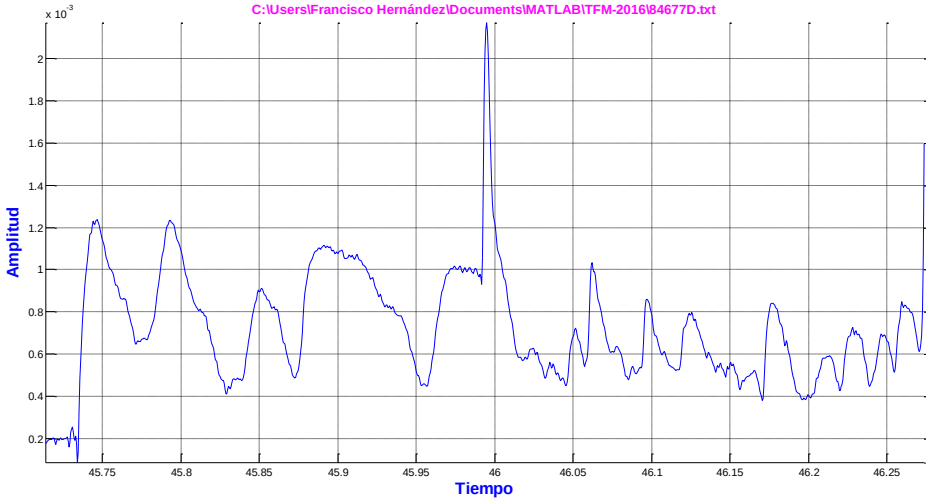
Inicialmente, las últimas 1.024 muestras previas al instante de la disrupción para la descarga 84677, vienen representadas mediante la siguiente gráfica:



Sobre el conjunto de muestras anterior, hay que realizar el filtro que considera el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11]. Resultado de la aplicación de dicho filtro, se obtiene la siguiente gráfica:



Aplicando el algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005] sobre los 1.024 instantes obtenidos a partir del instante con el valor umbral de 6 para el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] con la descarga 84677, se obtiene la siguiente secuencia; que refleja el comportamiento que experimenta paso a paso dicha descarga (desde el instante considerado). Partimos de:

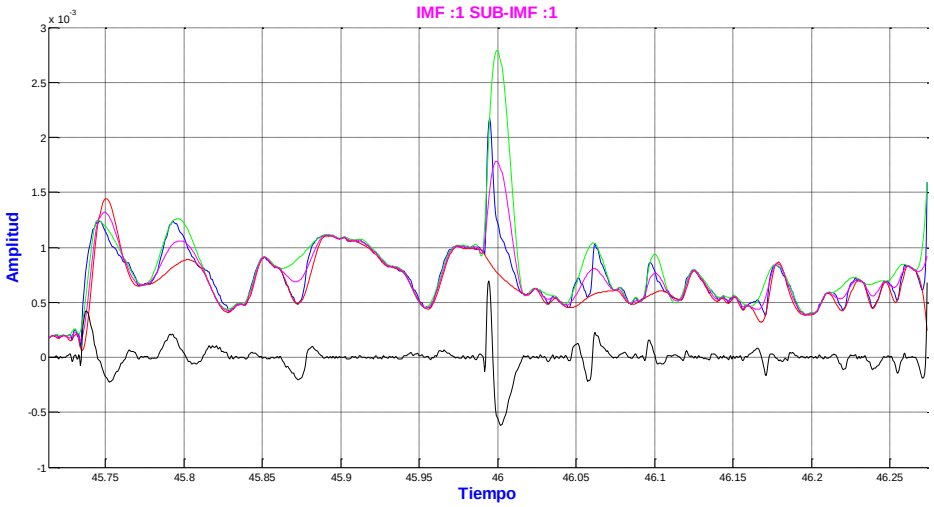


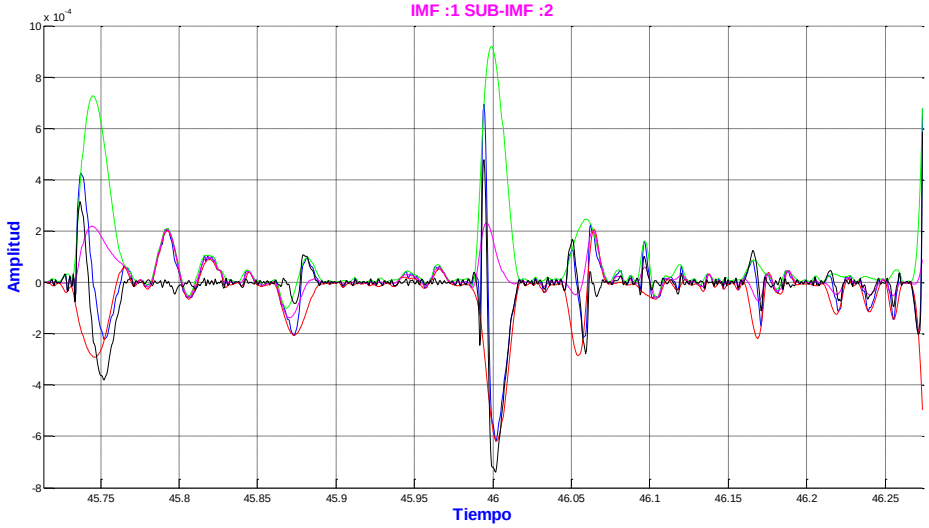
Se ejecutan las siguientes iteraciones mientras el criterio de convergencia SDk > 0,01.

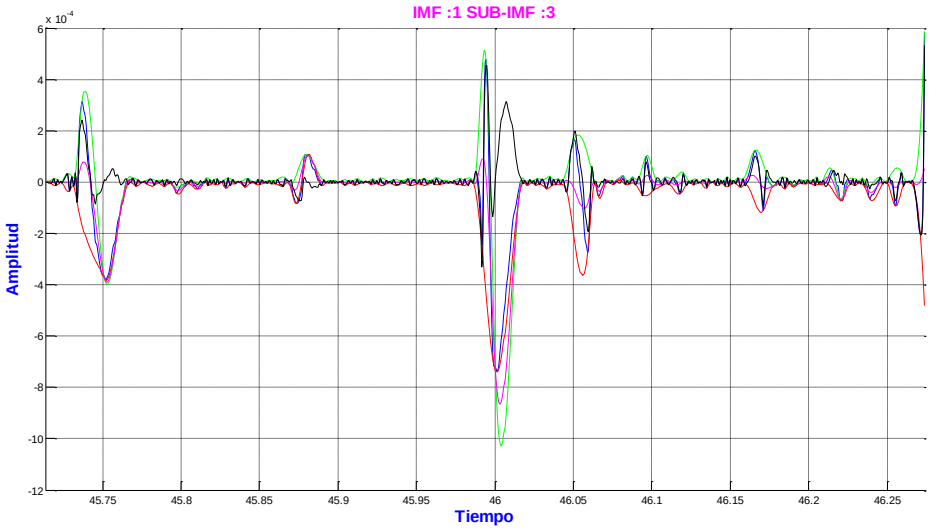
$$SD_k = \frac{\sum_{t=0}^{T} |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^{T} h_{k-1}^2}$$

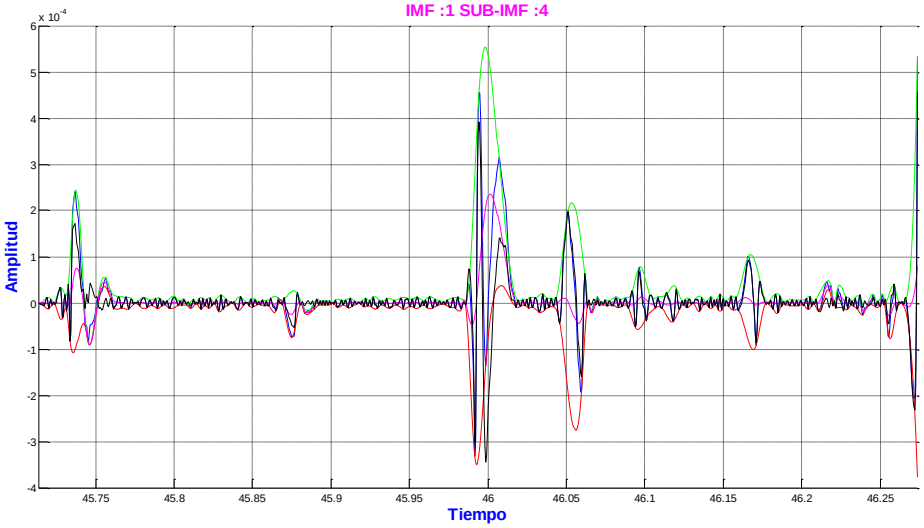
Recordemos que h_{k-1} representa los valores de la función de Hilbert-Huang [Norden 2005]para el ciclo anterior; y h_k representa los valores de la función de Hilbert-Huang [Norden 2005] para el ciclo actual.

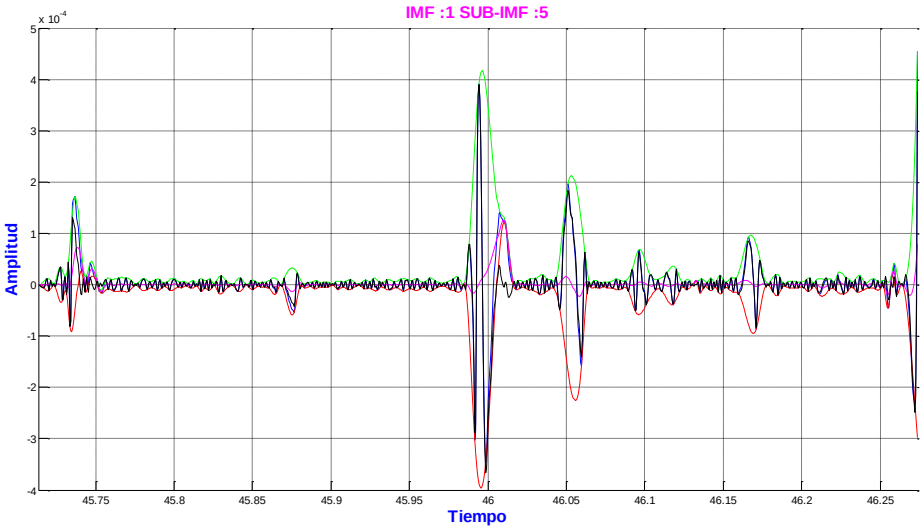
Se producen tantas iteraciones como sea preciso, hasta obtener la primera de las IMF's. Dichas iteraciones nos dan una idea de la evolución del algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005].

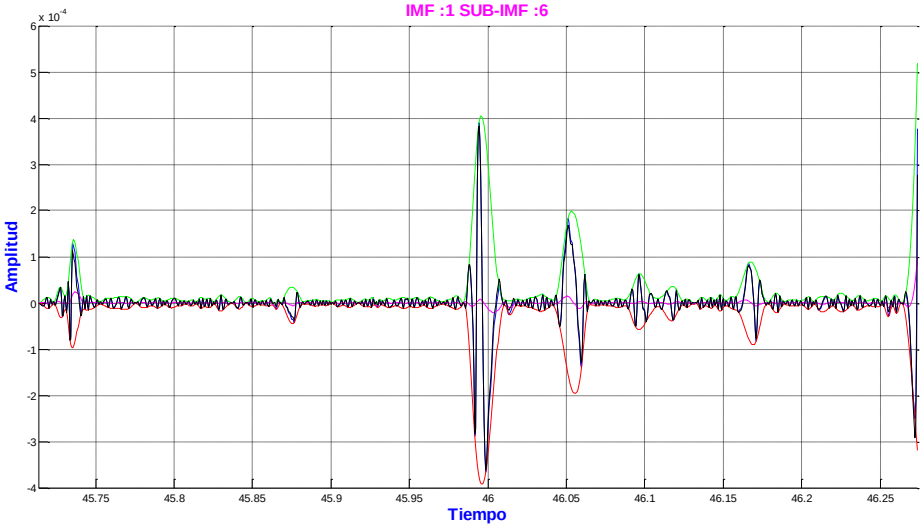


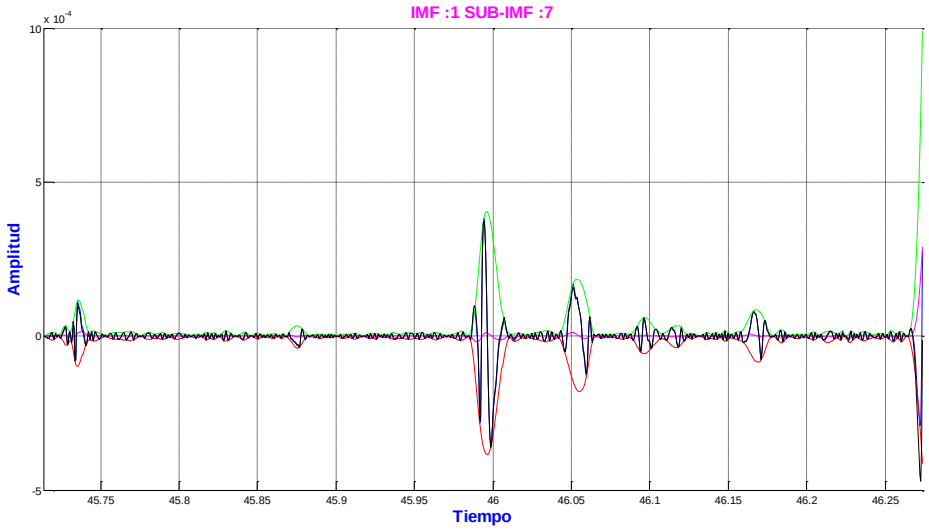


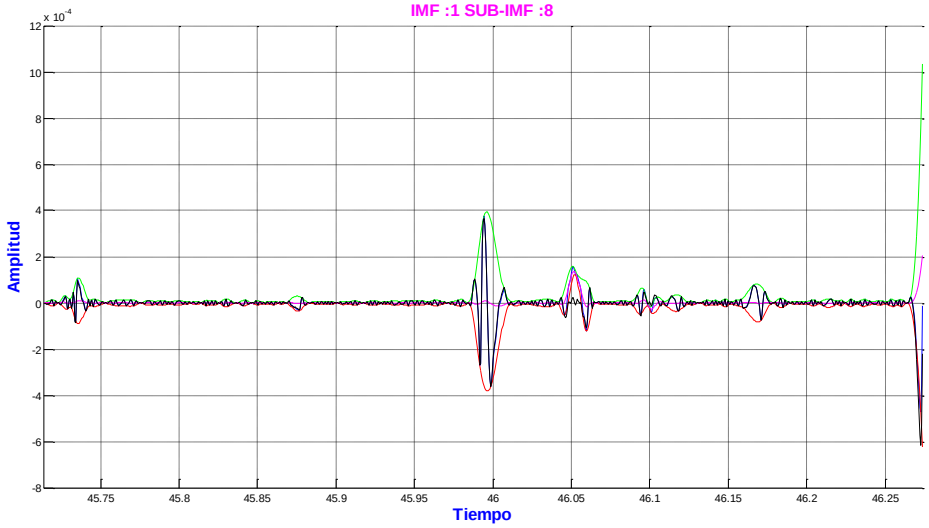

IMF :1 SUB-IMF :3
x 10^-4
Amplitud
Tiempo

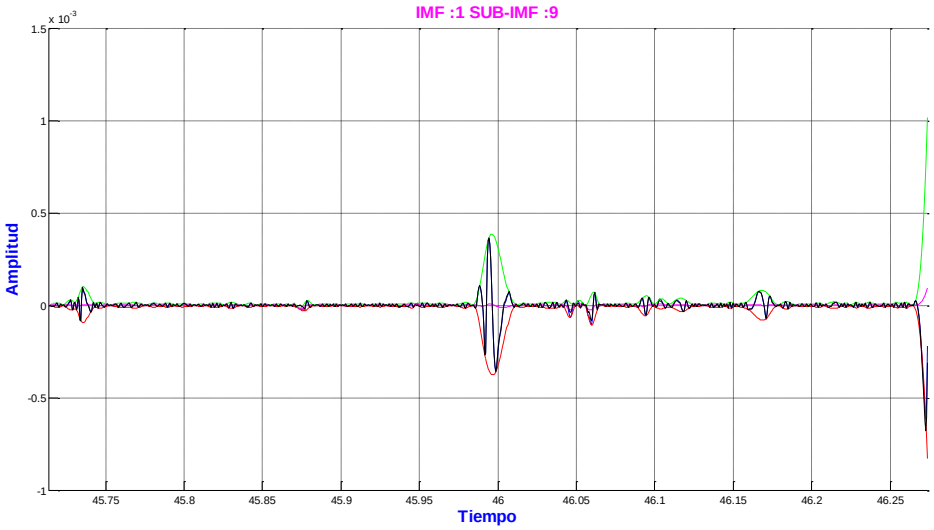

IMF :1 SUB-IMF :4
x 10^-4
Amplitud
Tiempo

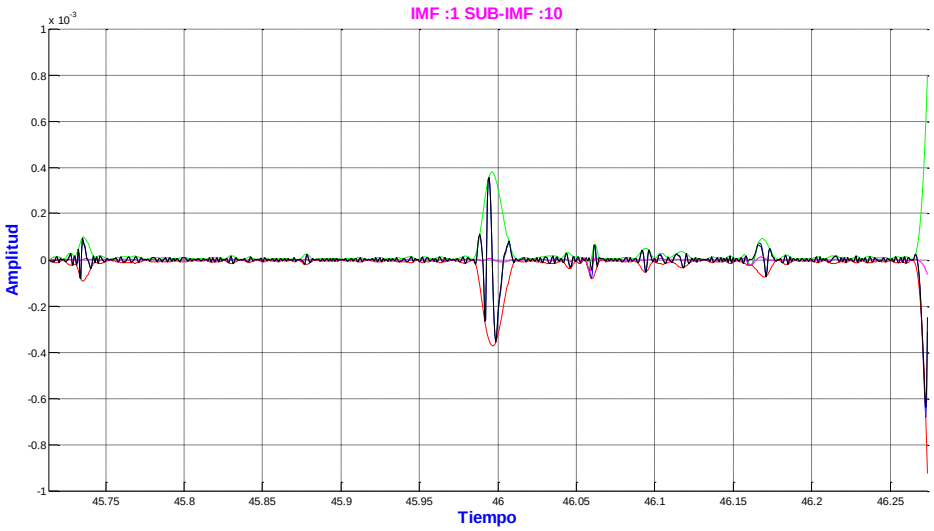

IMF :1 SUB-IMF :5
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25


IMF :1 SUB-IMF :6
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

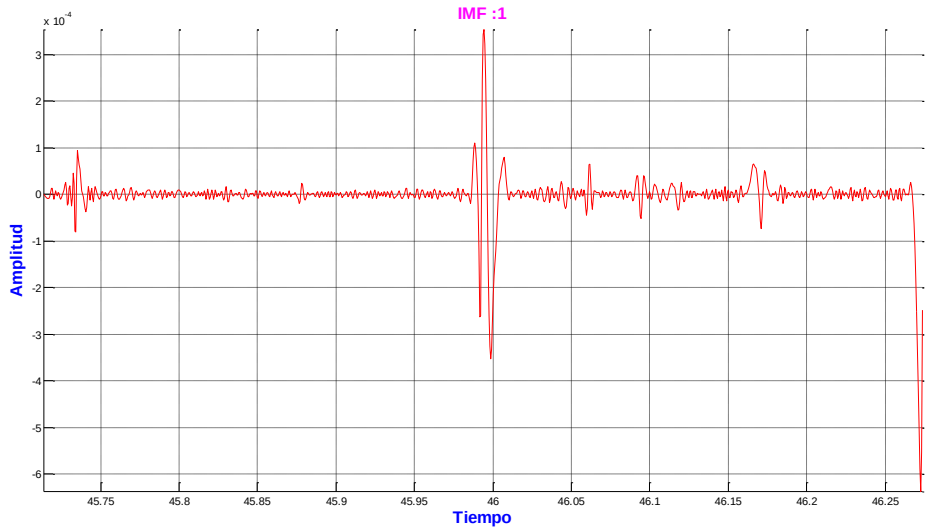

IMF :1 SUB-IMF :7
x 10^-4
10
5
0
-5
Amplitud
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo


IMF :1 SUB-IMF :8
x 10^-4
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
Amplitud
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo

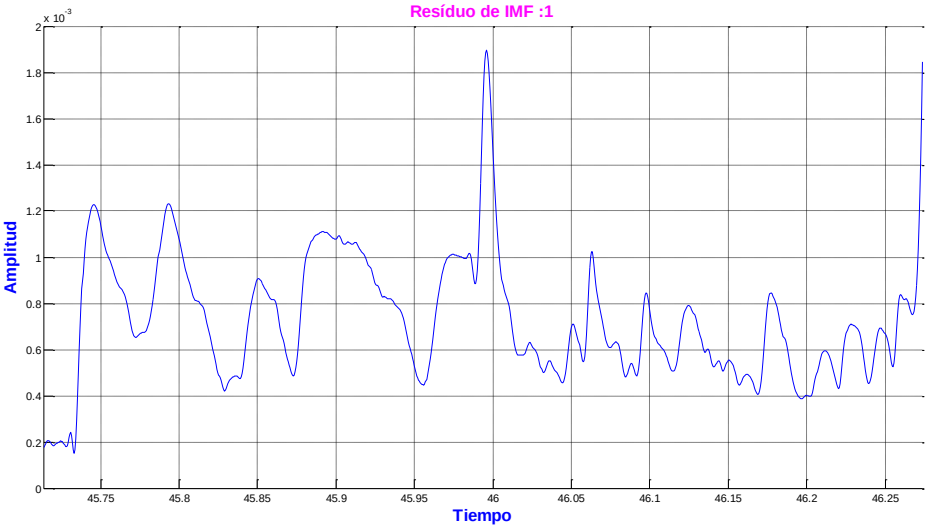

IMF :1 SUB-IMF :9
x 10^-3
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
Amplitud
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo


IMF :1 SUB-IMF :10
x 10^-3
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
Amplitud
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo

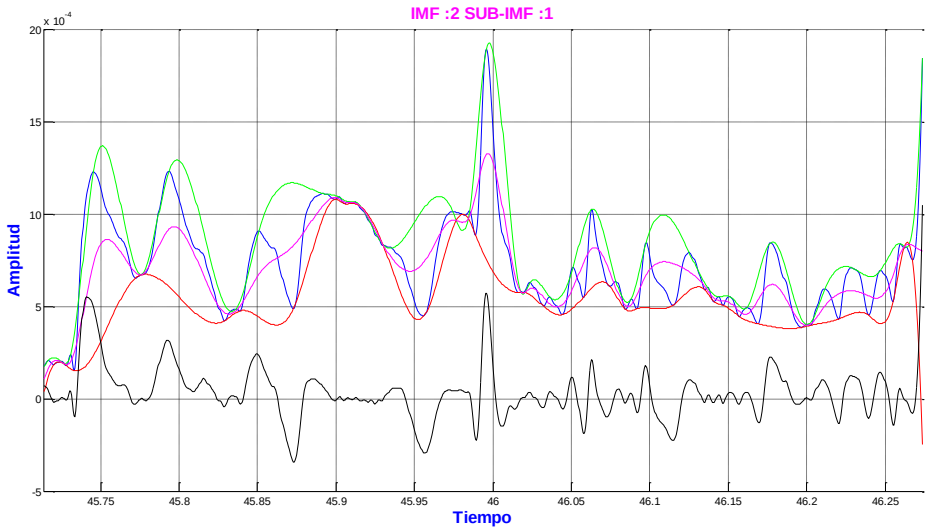
Cuando se llega a SDk <= 0,01, se obtiene la primera IMF.

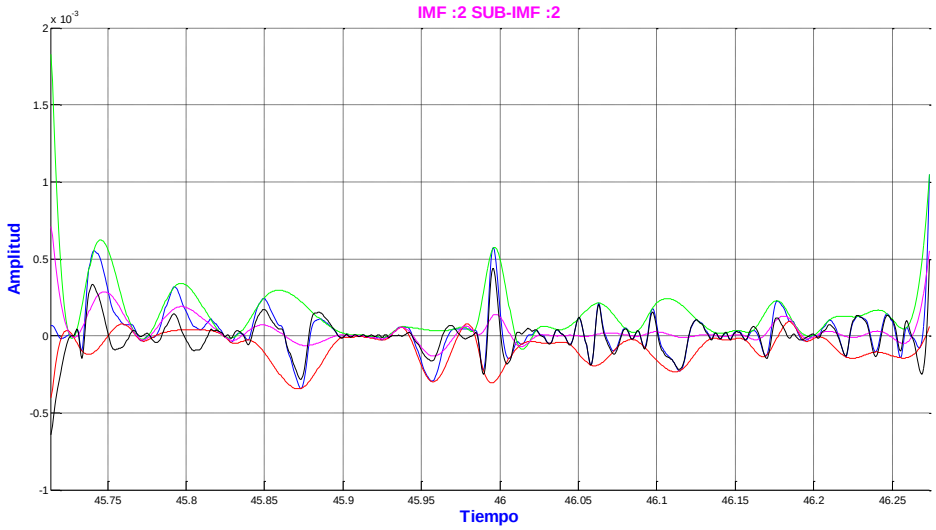


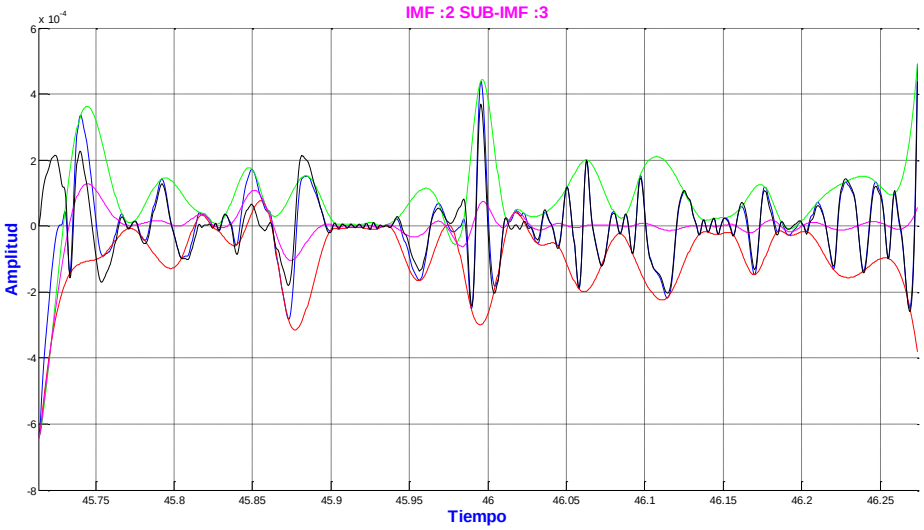
Y su correspondiente residuo.

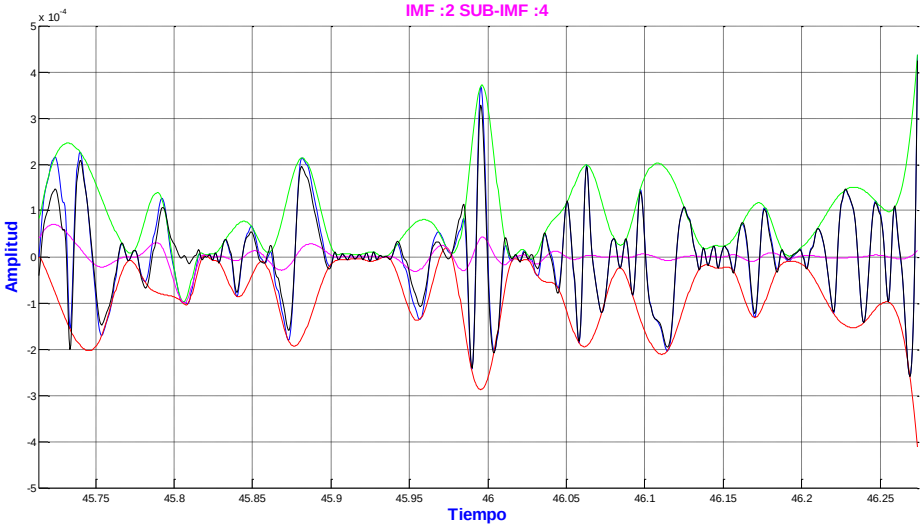


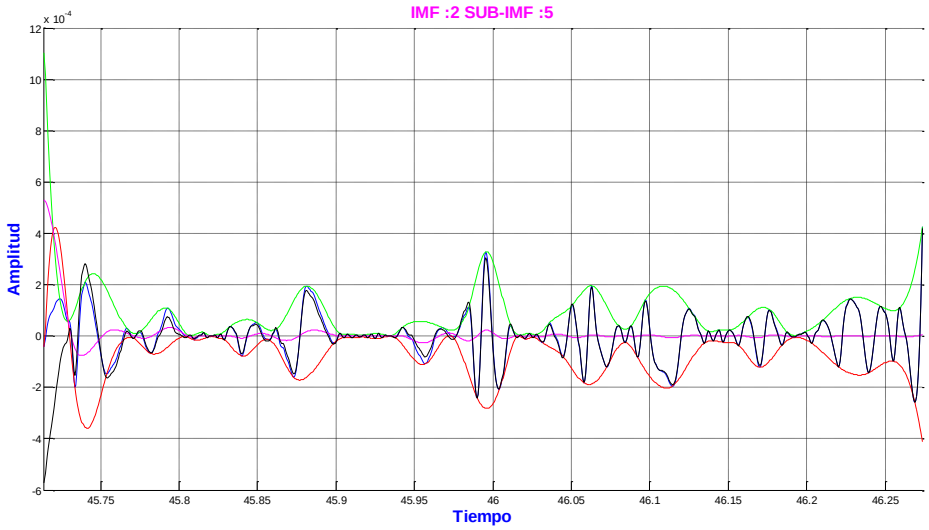
Se inician las iteraciones para obtener la segunda IMF.

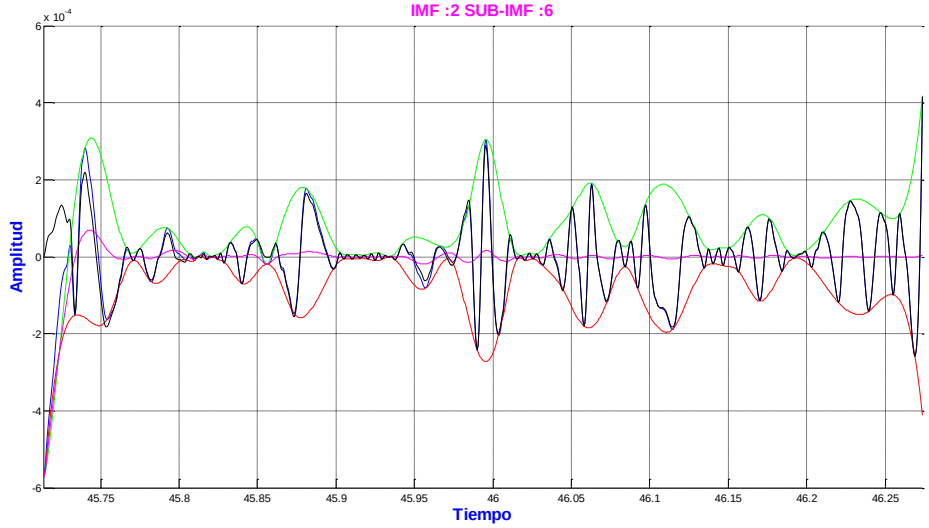


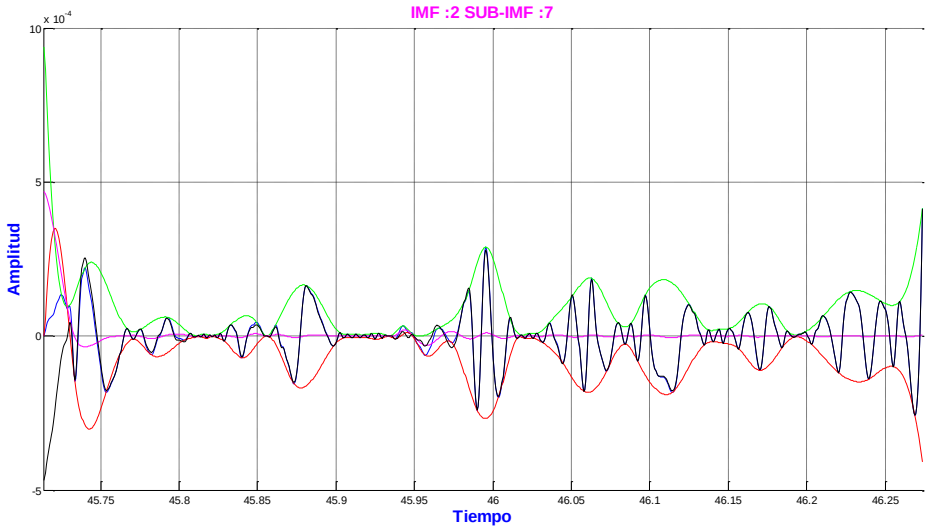


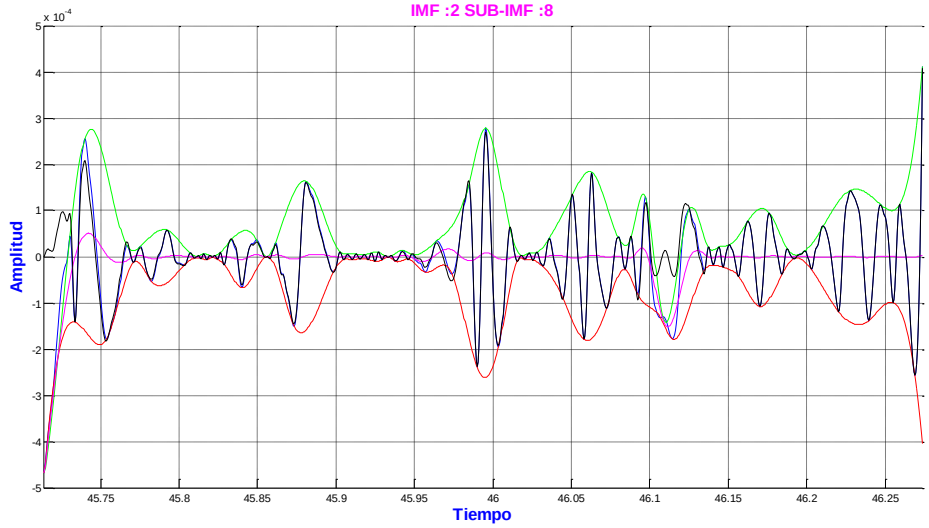

IMF :2 SUB-IMF :3
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

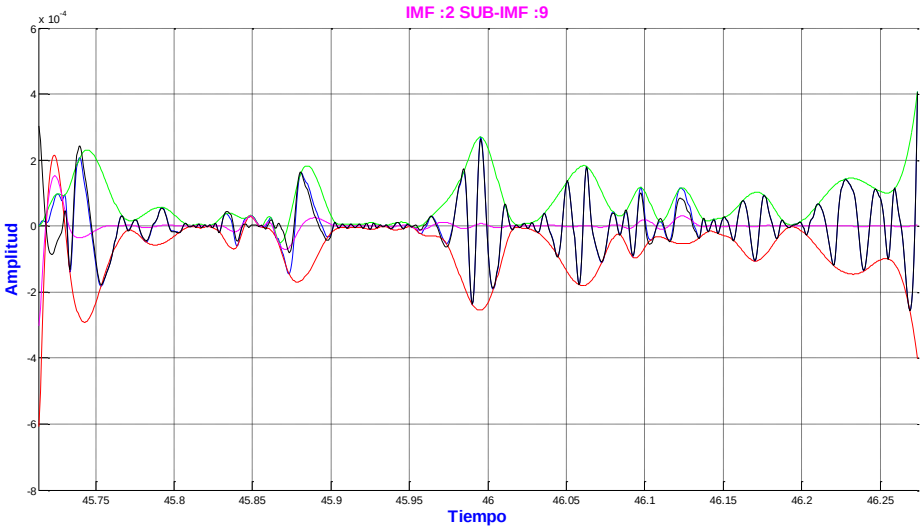

IMF :2 SUB-IMF :4
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

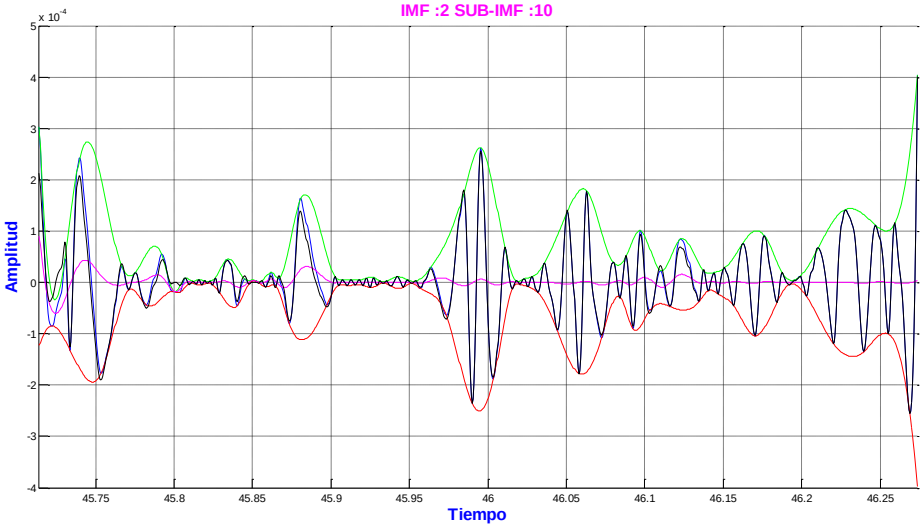

IMF :2 SUB-IMF :5
x 10^-4
Amplitud
Tiempo

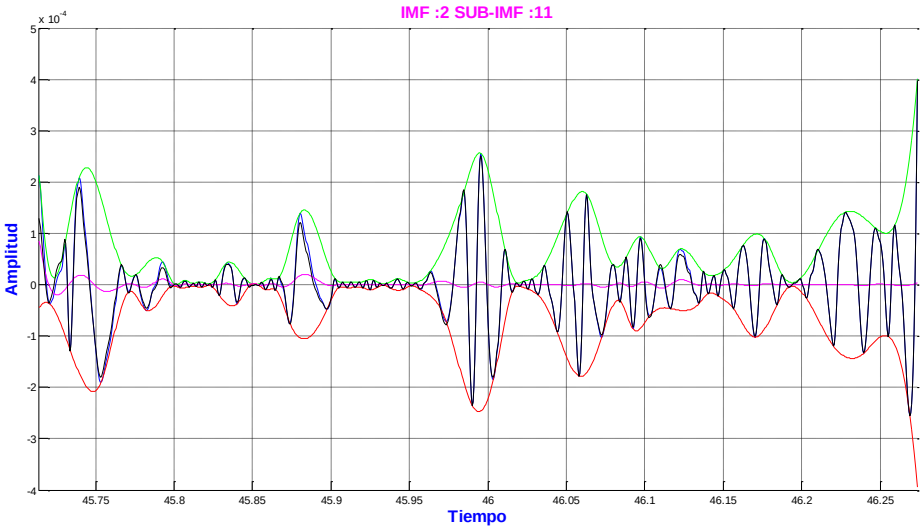

IMF :2 SUB-IMF :6
x 10^-4
Amplitud
Tiempo


IMF :2 SUB-IMF :7
x 10^-4
10
5
0
-5
Amplitud
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo

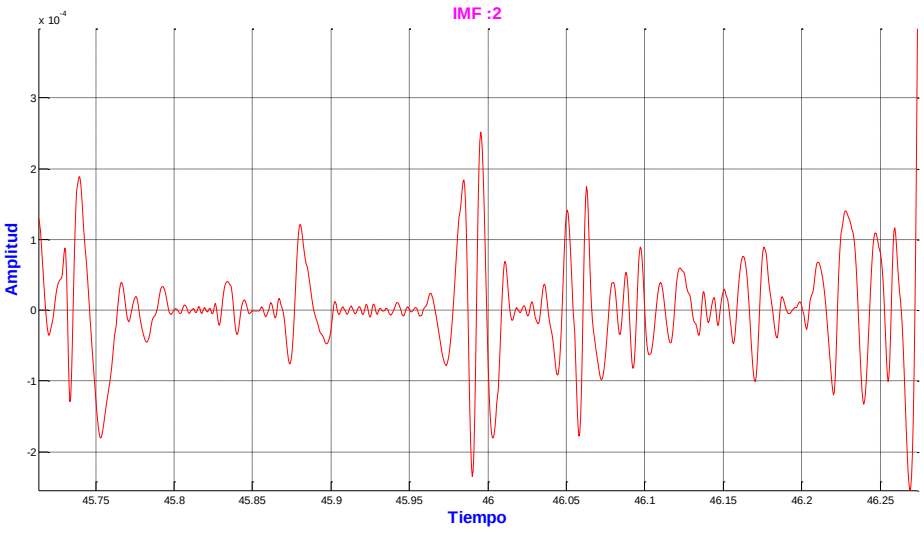

IMF :2 SUB-IMF :8
x 10^-4
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
Amplitud
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25
Tiempo


IMF :2 SUB-IMF :9
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

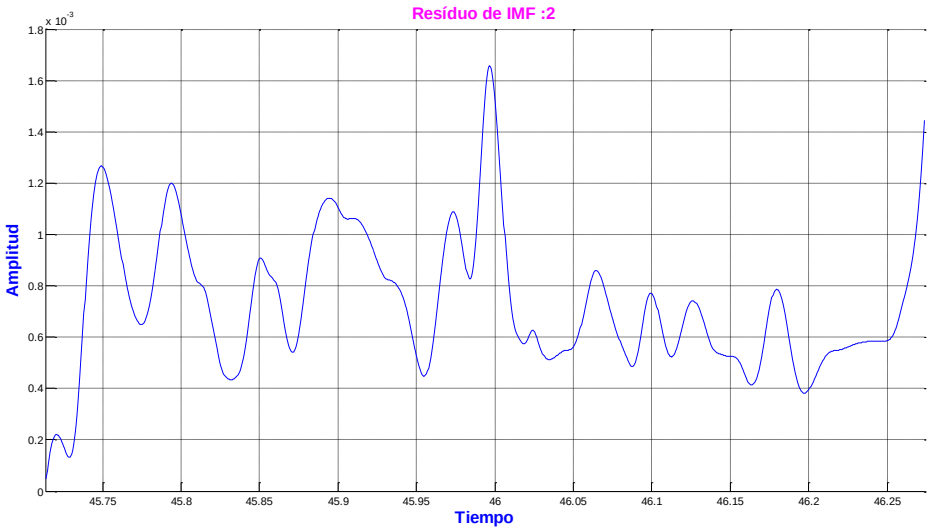

IMF :2 SUB-IMF :10
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25



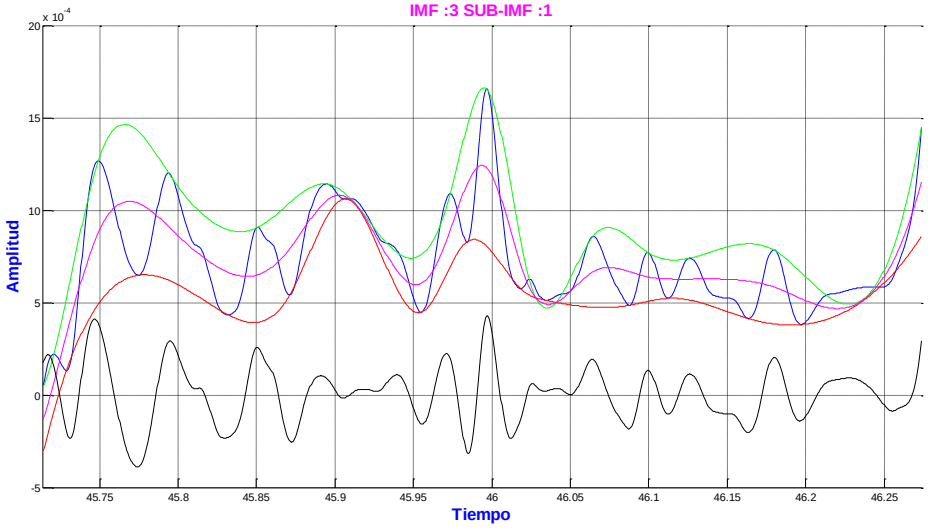
Cuando se llega a SDk <= 0,01, se obtiene la segunda IMF.

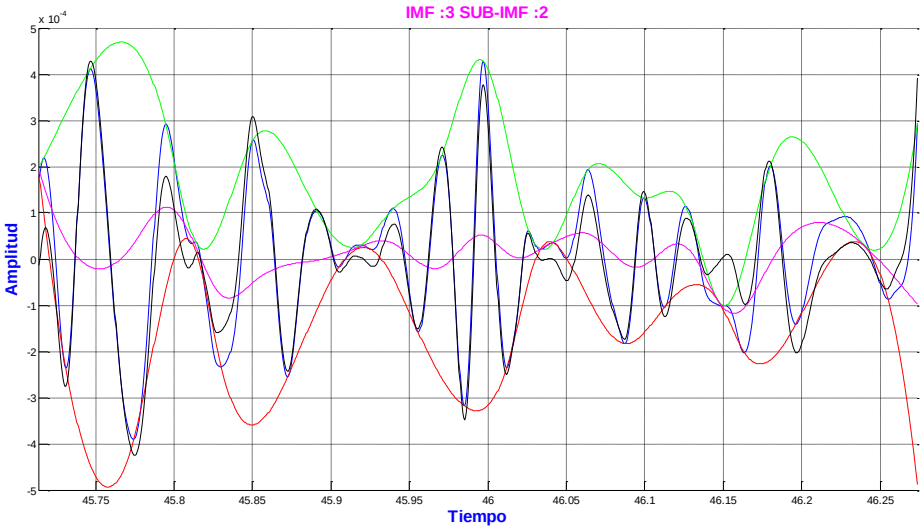


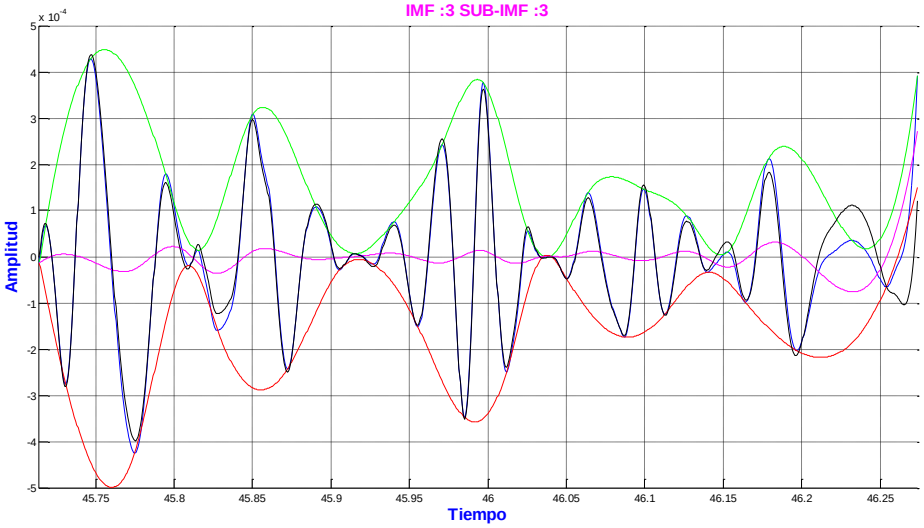
Así como su correspondiente residuo.

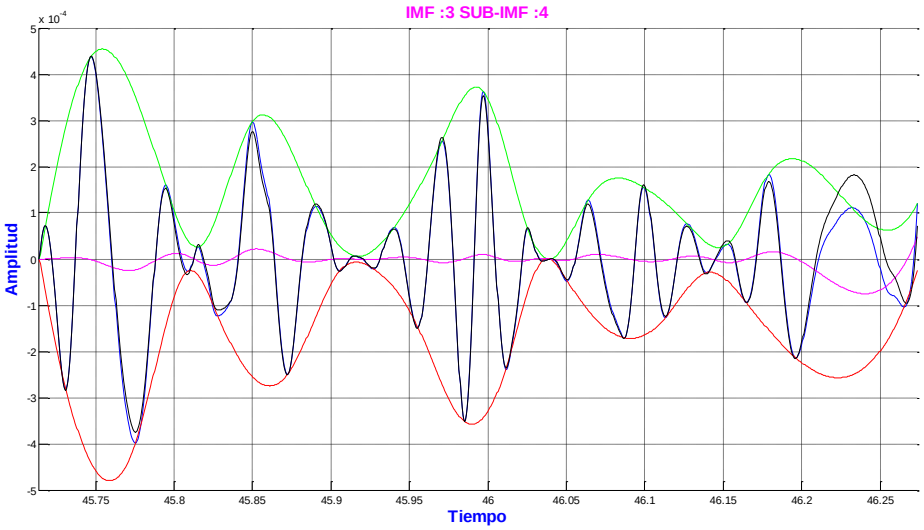


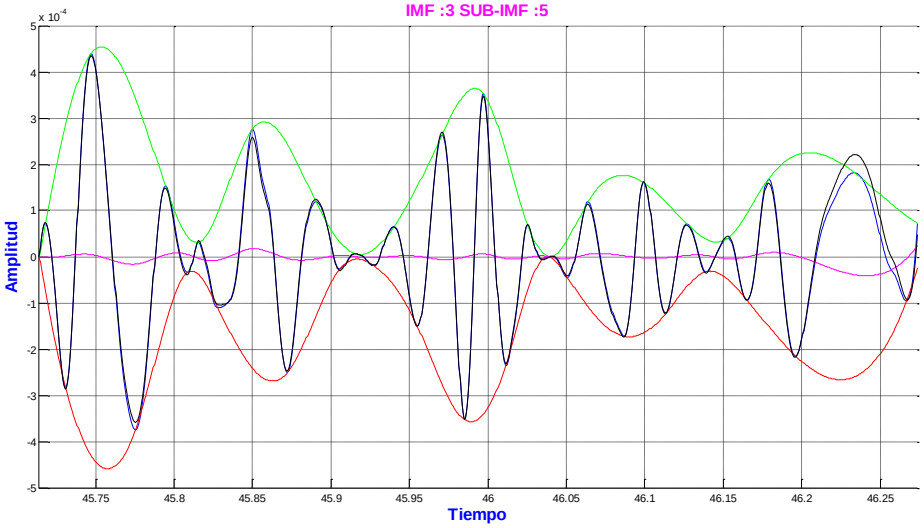
Nuevamente, se vuelven a iniciar las iteraciones para obtener la tercera IMF.



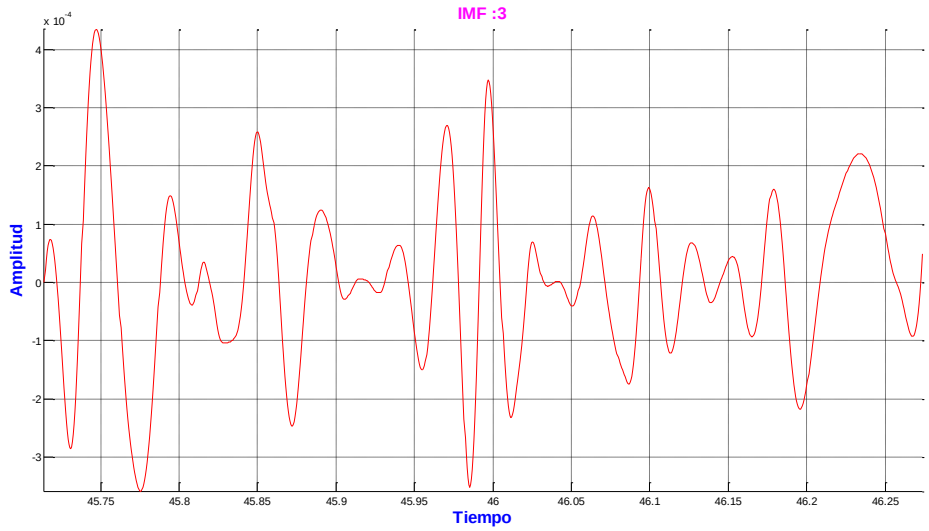

IMF :3 SUB-IMF :2
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25


IMF :3 SUB-IMF :3
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

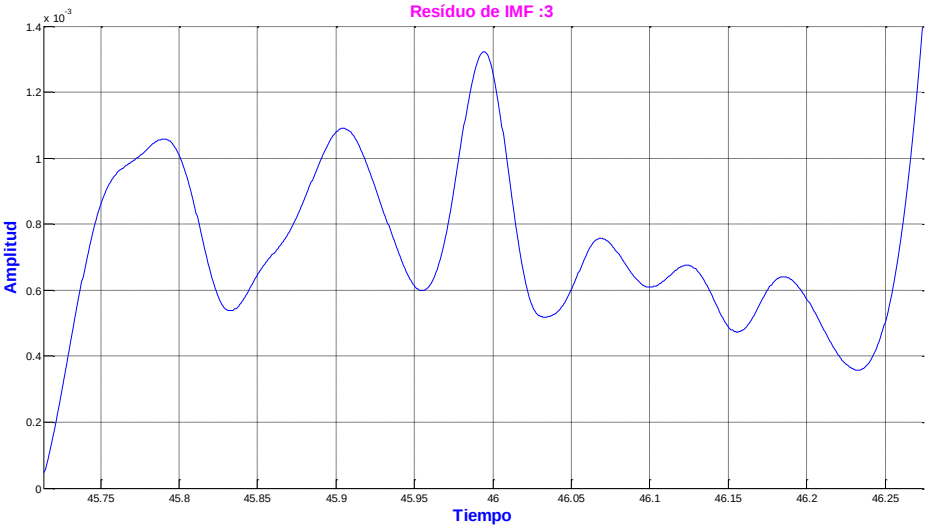

IMF :3 SUB-IMF :4
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25


IMF :3 SUB-IMF :5
x 10^-4
Amplitud
Tiempo
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-5
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

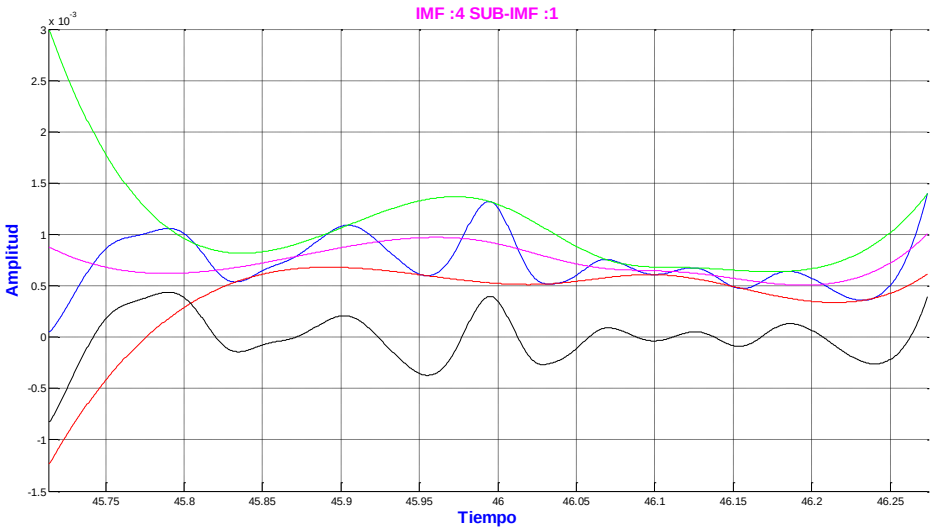
Cuando se llega a SDk <= 0,01, se obtiene la tercera IMF.

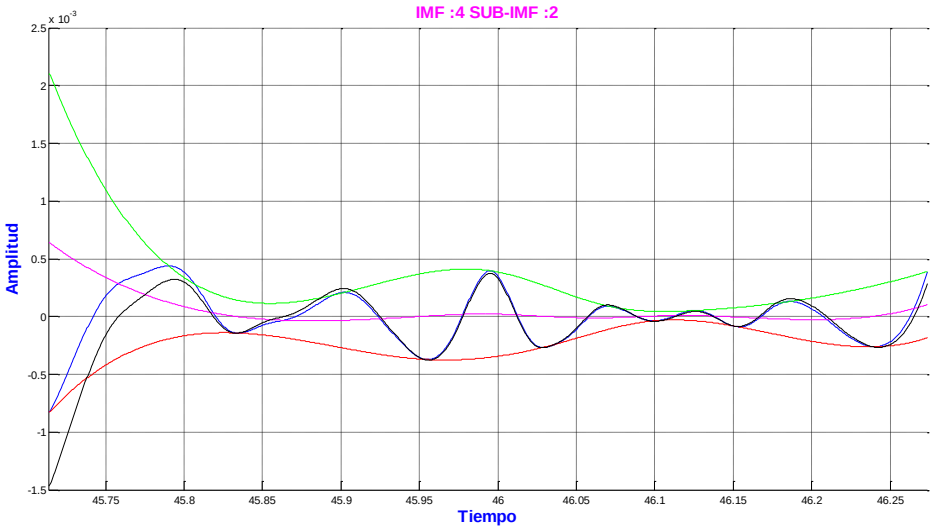


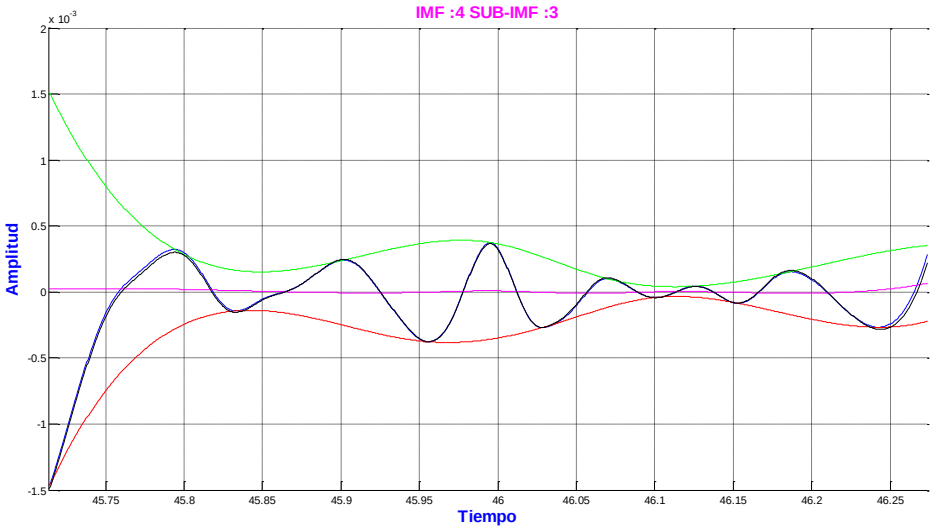
Y su correspondiente residuo.



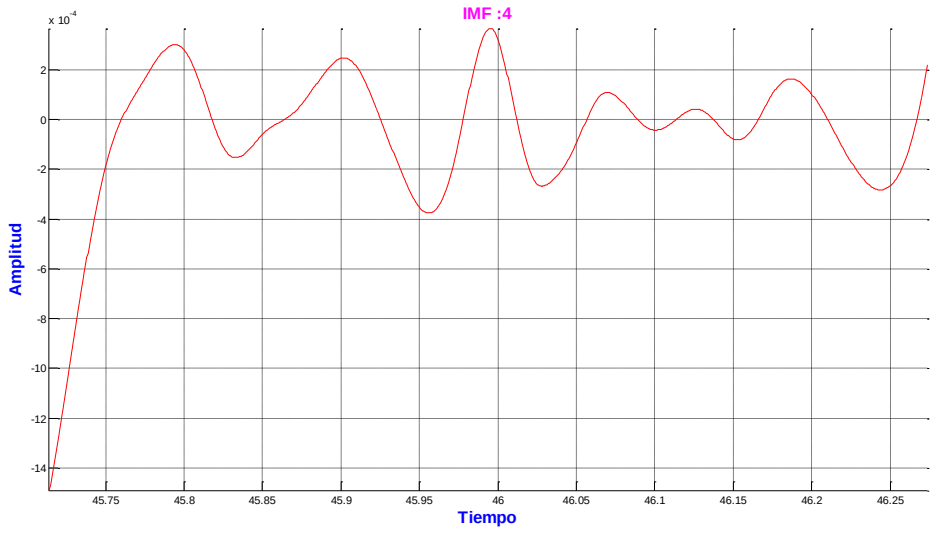
Se realizan las iteraciones hasta obtener la cuarta IMF.



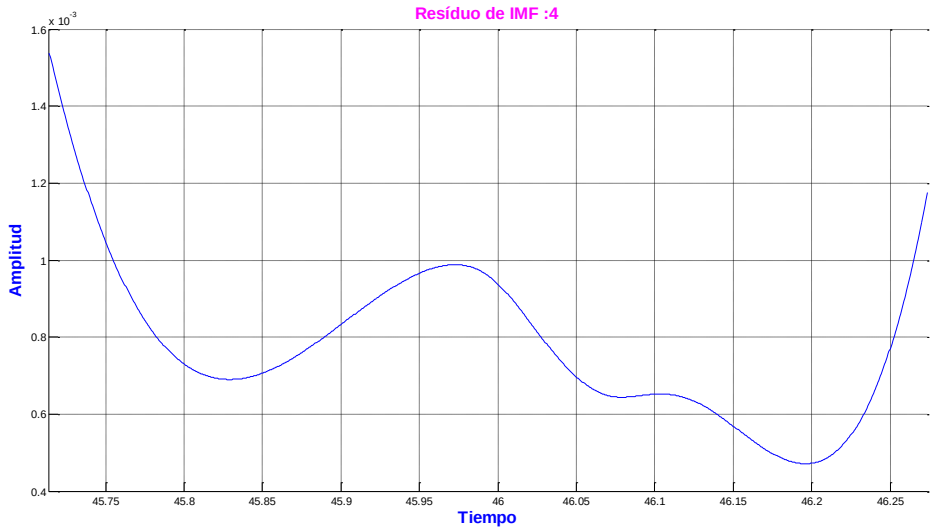




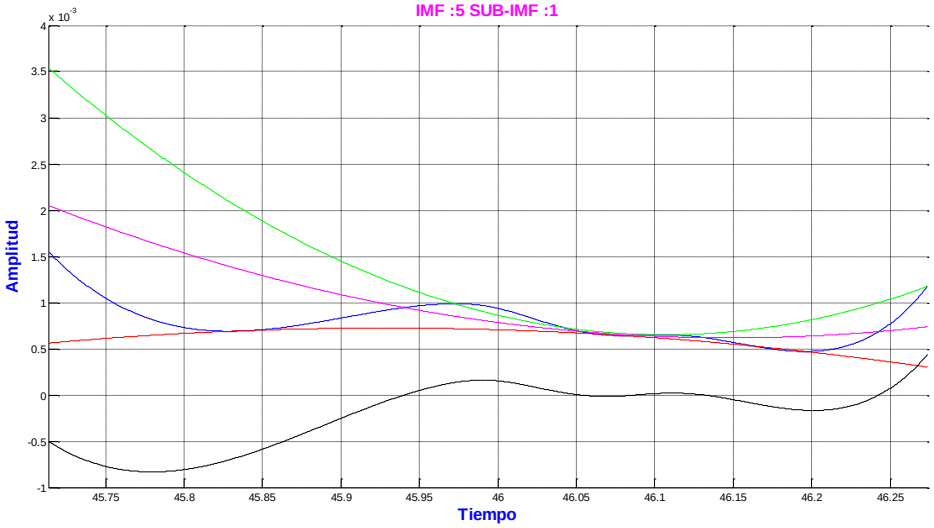
Cuando se llega a SDk <= 0,01, se obtiene la cuarta IMF.

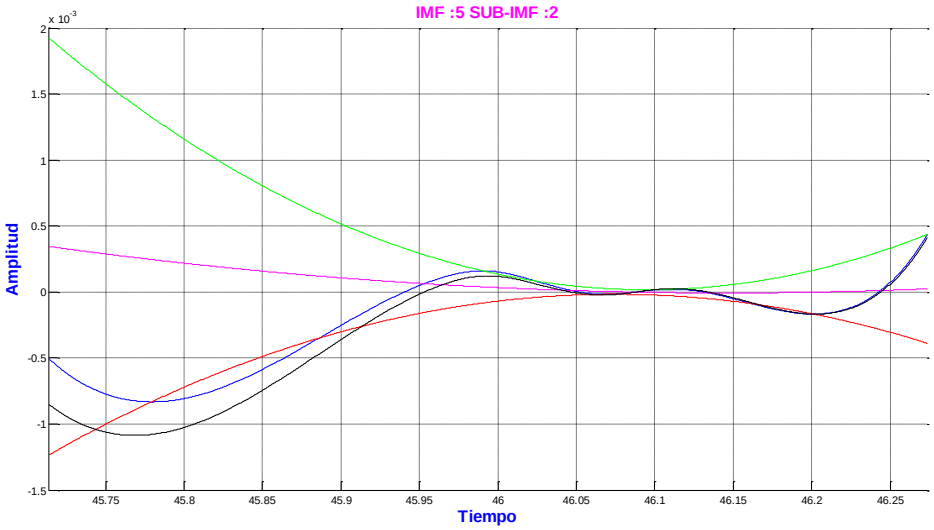


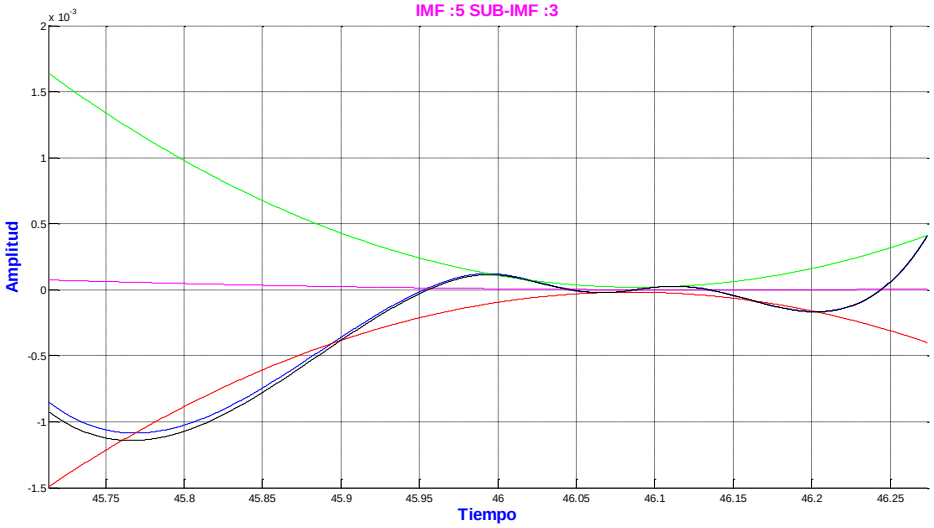
Así como su correspondiente residuo.



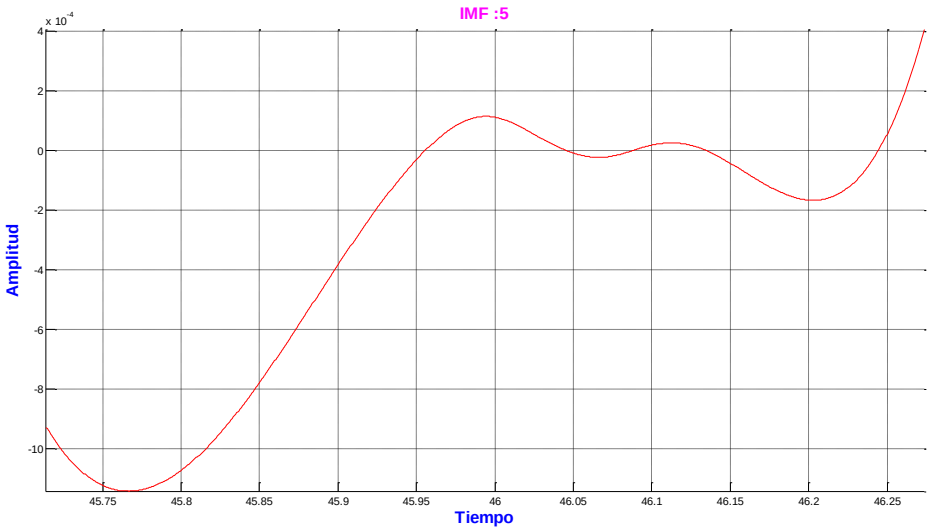
Se realizan las iteraciones hasta conseguir la quinta IMF.



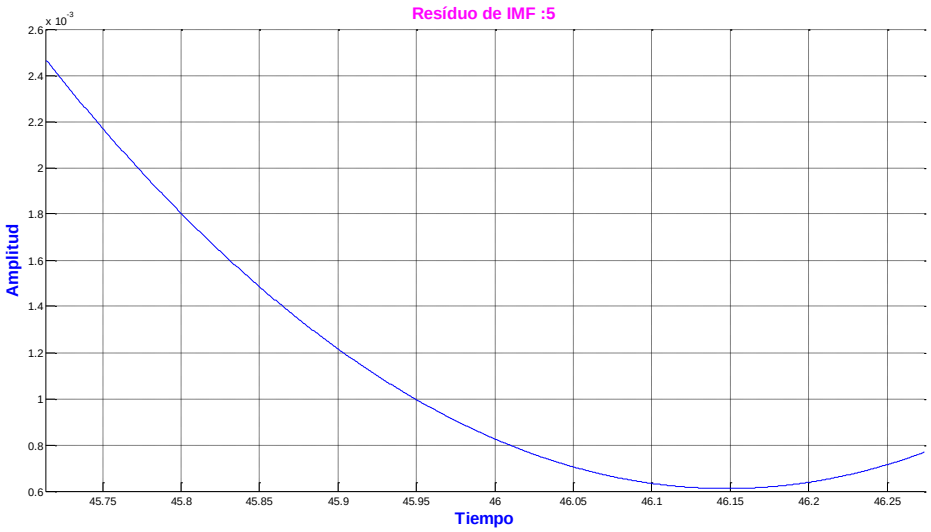

IMF :5 SUB-IMF :2
x 10^-3
Amplitud
Tiempo
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25


IMF :5 SUB-IMF :3
x 10^-3
Amplitud
Tiempo
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
45.75
45.8
45.85
45.9
45.95
46
46.05
46.1
46.15
46.2
46.25

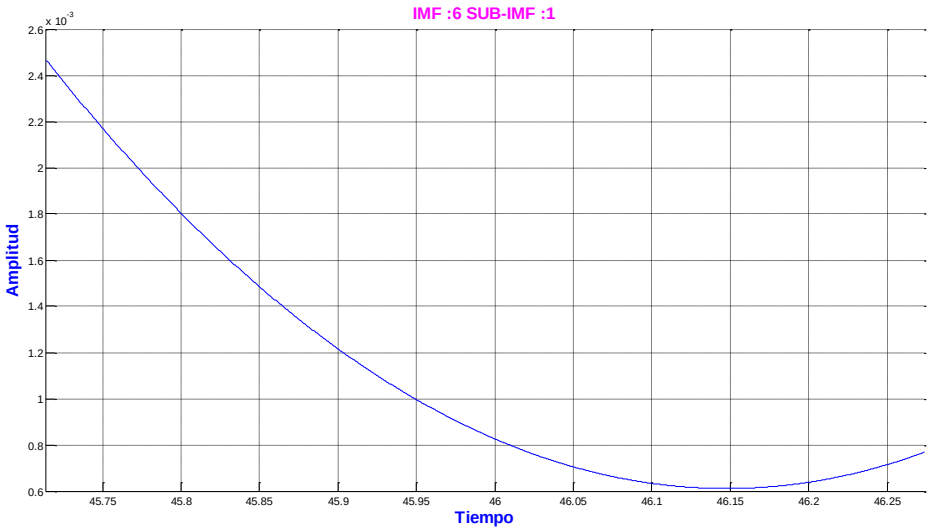
Cuando se llega a SDk <= 0,01, se obtiene la quinta IMF.



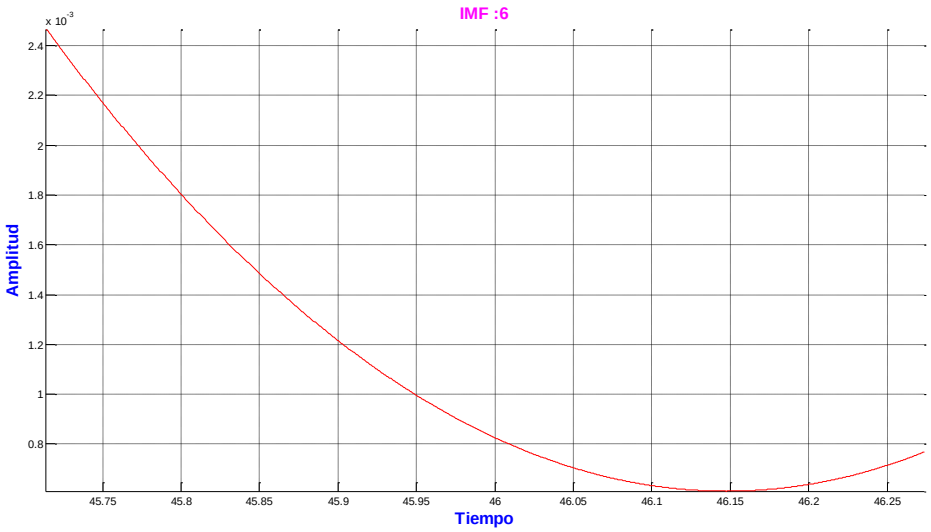
Y su residuo correspondiente.



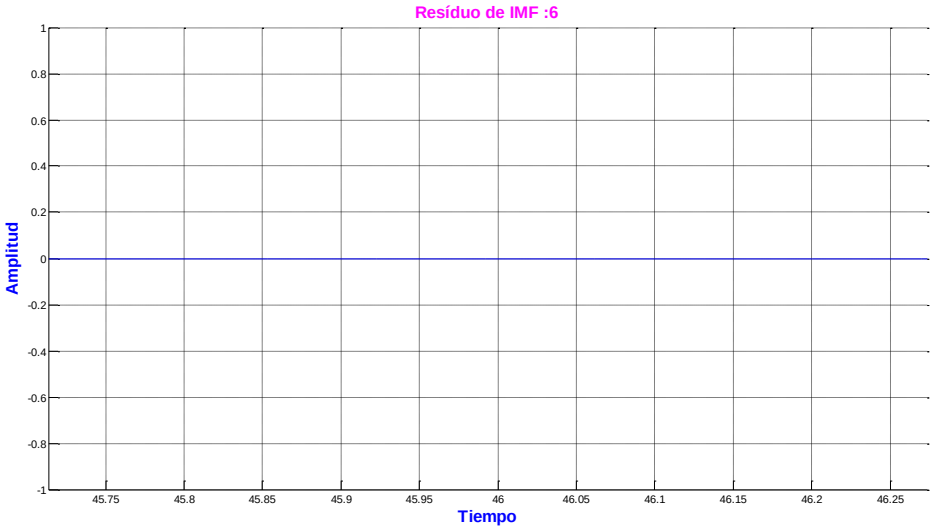
Se realizan las iteraciones para obtener su sexta IMF.



Cuando se llega a SDk <= 0,01, se obtiene la sexta IMF.



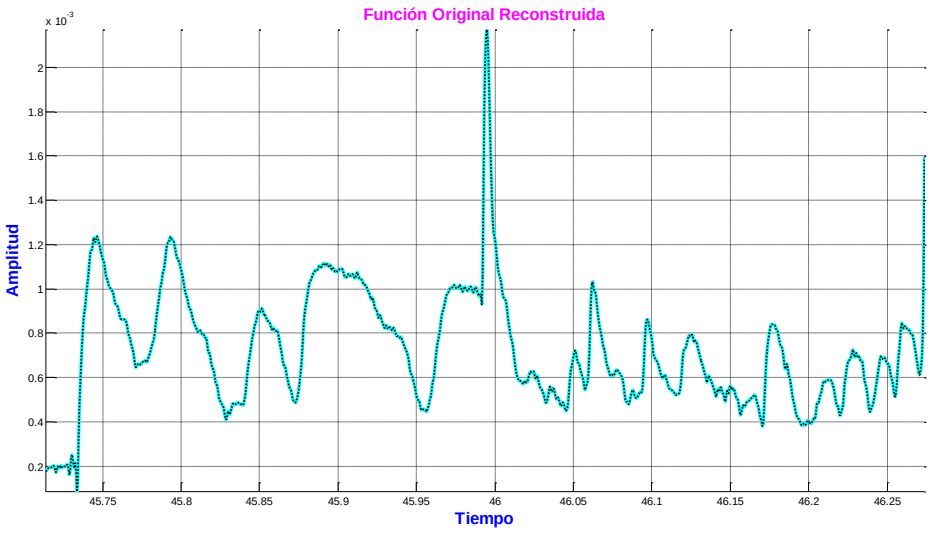
Y su correspondiente residuo.



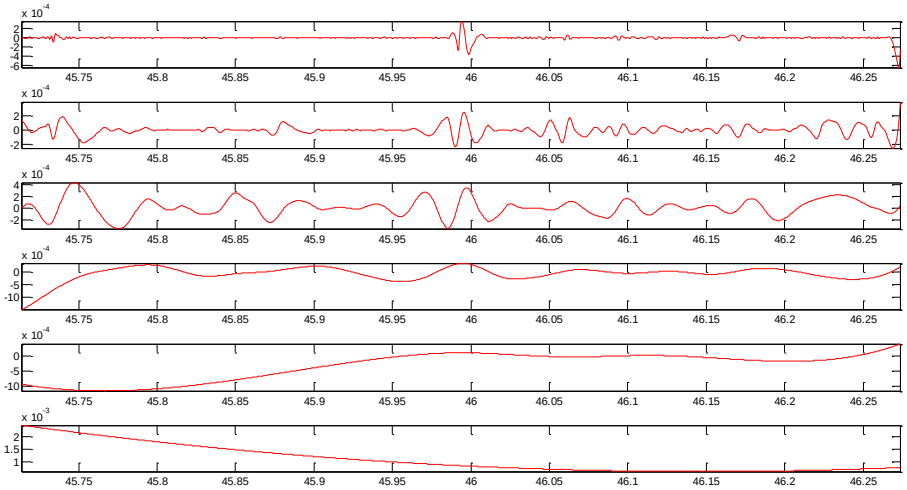
El algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005] ha finalizado. La última IMF obtenida tiene un solo mínimo, y del residuo resultante no hay descomposición posible; ya que es nulo.

Con los datos de las IMF's obtenidas y del último residuo obtenido, se reconstruye la función. Y se comprueba que coincide la reconstrucción con la función original.

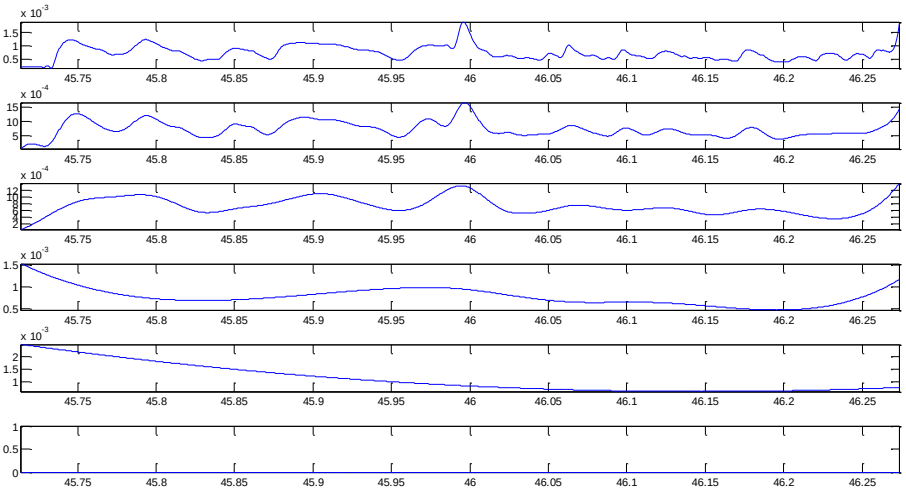
Gráficamente se observa el solapamiento de la línea de color cyan con la línea de puntos negros; por lo que se determina la exactitud de ambas.



Se muestra un resumen de las IMF's obtenidas.

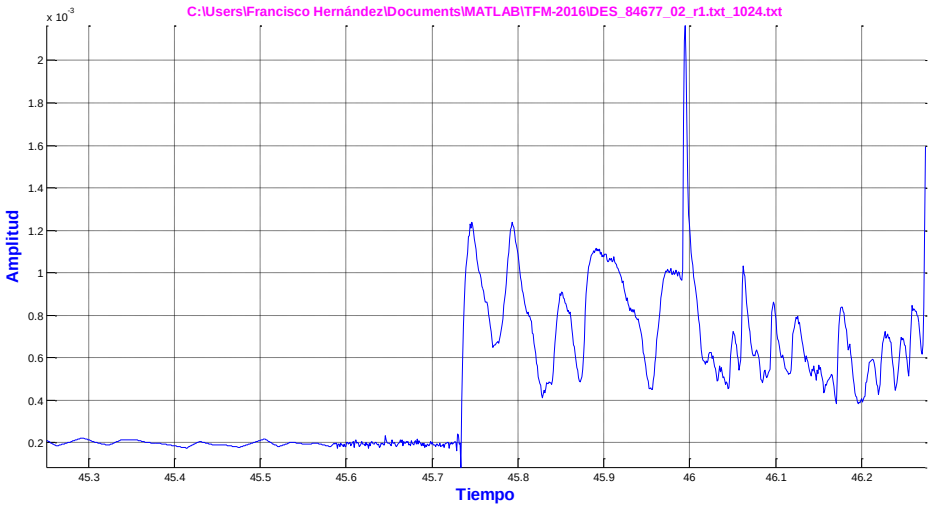


Y el resumen de los residuos obtenidos.

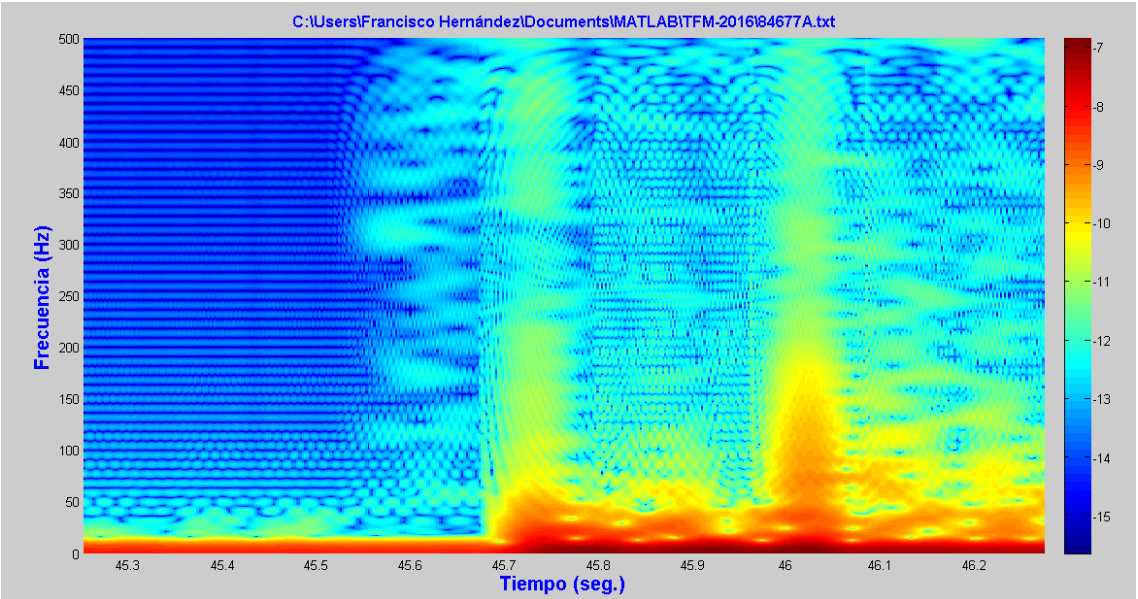


5.7. Análisis detallado del proceso de Descomposición de Modo Empírico para una descarga experimental de JET. Criterio de Máxima Pendiente Media frente al Criterio según el Factor de Outlier.

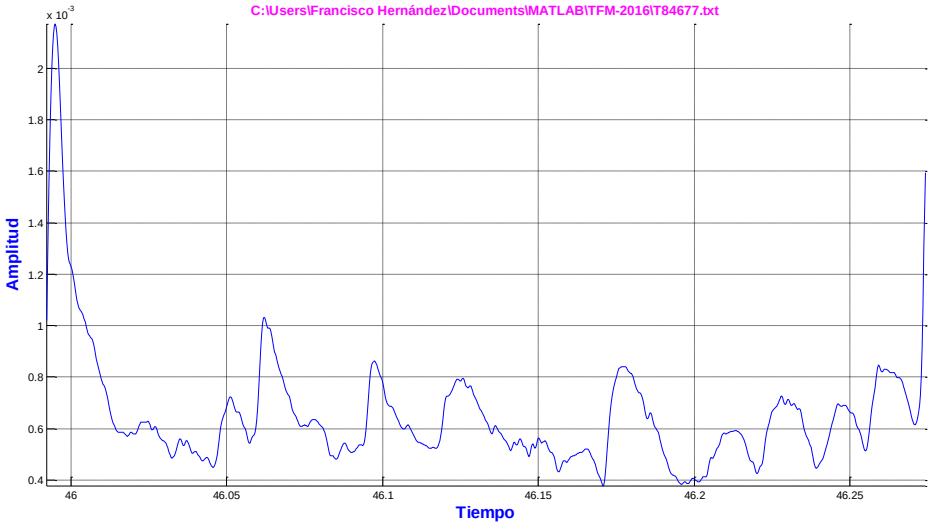
Inicialmente, las últimas 1.024 muestras previas al instante de la disrupción para la descarga 84677, vienen representadas mediante la siguiente gráfica:



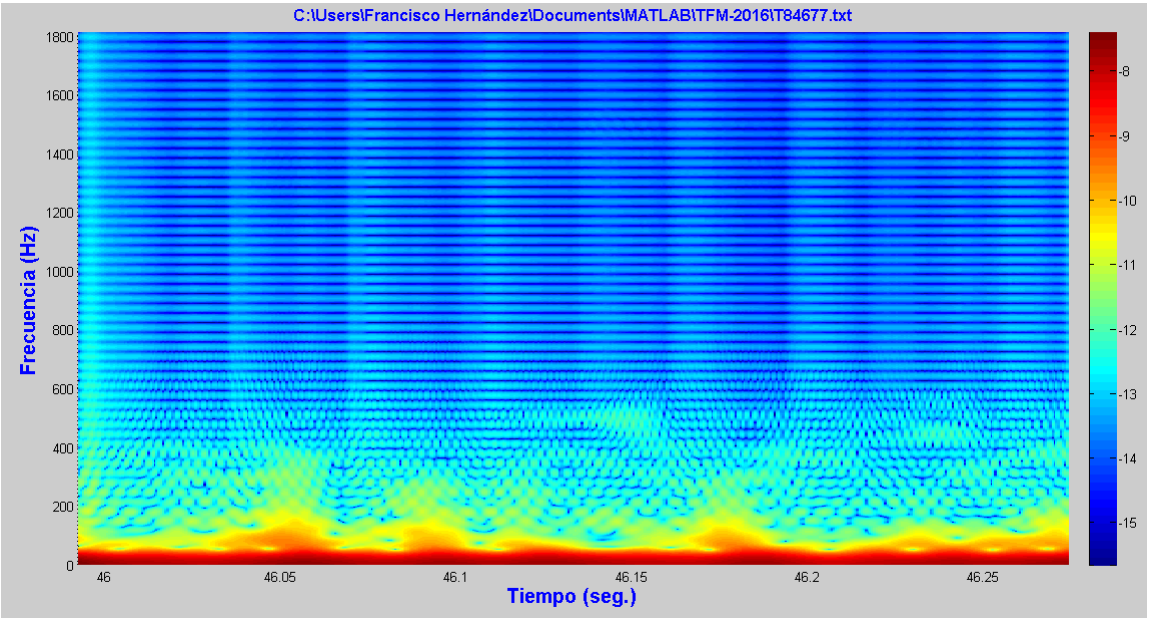
Su espectrograma correspondiente, que representa los valores de frecuencia con respecto al tiempo, sería el siguiente:



Utilizando el criterio de máxima pendiente media, la función que se tratrará mediante el algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005], tendrá el siguiente aspecto:



Siendo su espectrograma asociado el que se muestra a continuación:

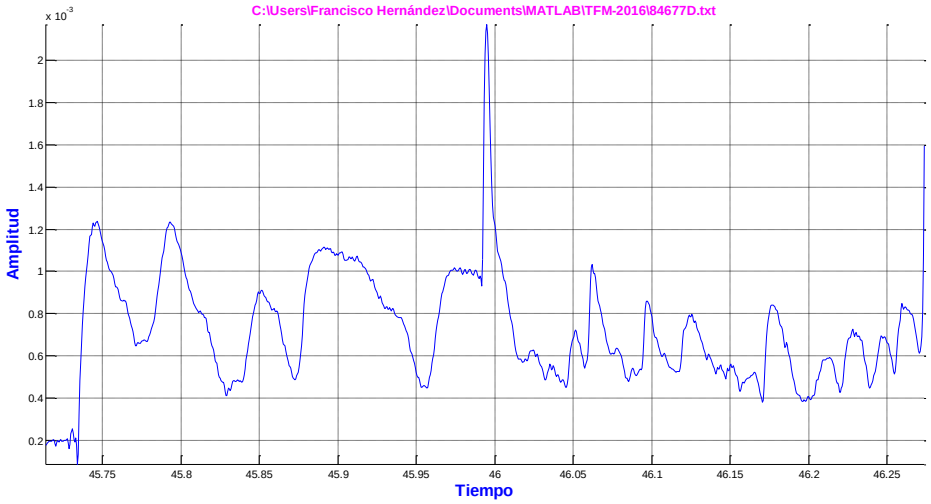


Obtenida la máxima pendiente media, ésta se encuentra en un tramo que comprende cuatro intervalos; tomándose desde el instante t = 45,992072 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 46, 2740).

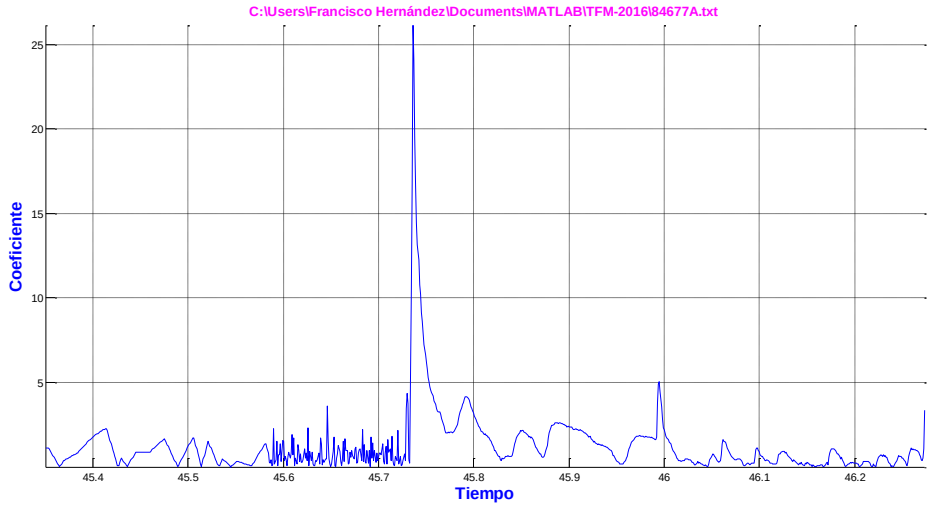
El hecho anterior supone que se tomen sólo los últimos 283 instantes de los

1.024 que teníamos inicialmente. Como hemos interpolado sobre esos 283 instantes hasta conseguir los 1.024 instantes, la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1.000 muestras/segundo a 3.631,2 muestras/segundo.

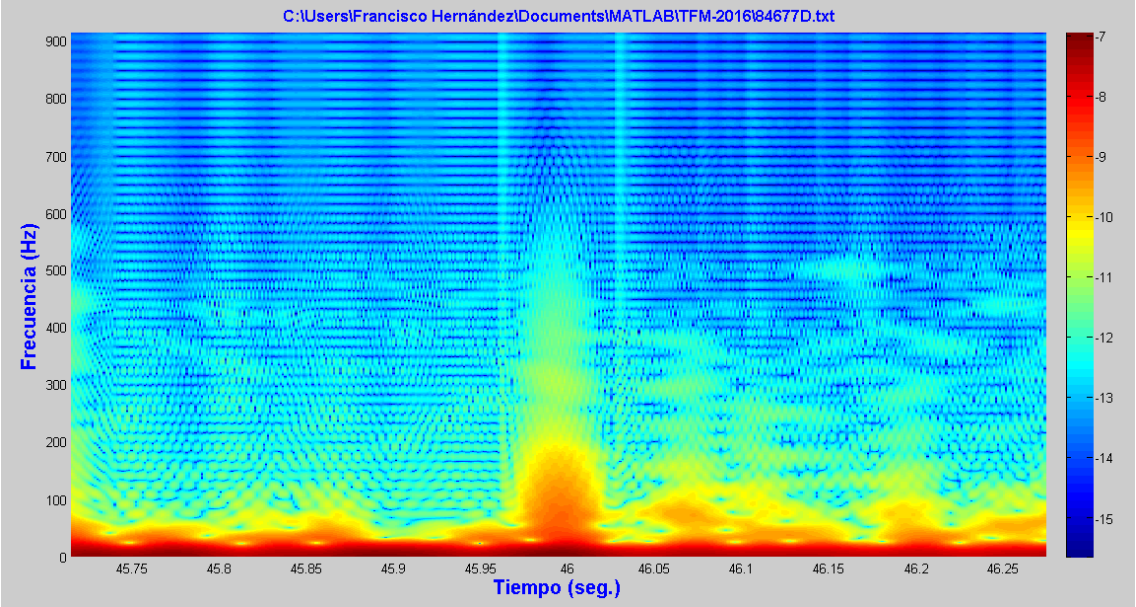
Mientras que, si utilizamos el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11], adopta la siguiente forma:



Ello se debe al instante en el que se rebasa el umbral de 6, para el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11]. Se muestra a continuación la gráfica de dicho factor (coeficiente) con respecto al tiempo:



El espectrograma asociado a la penúltima gráfica presenta el siguiente aspecto:

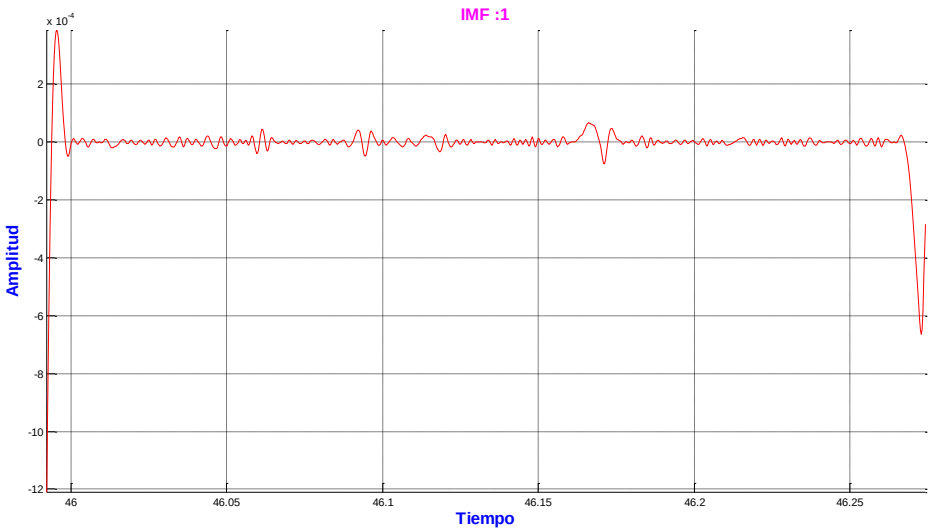


Alcanzado o superado el valor de 6 para el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] y teniendo en cuenta 20 muestras anteriores a haber sido alcanzado; tomamos desde el instante t = 45,714072 hasta el momento en el que se produce la disrupción (t = 46, 2740).

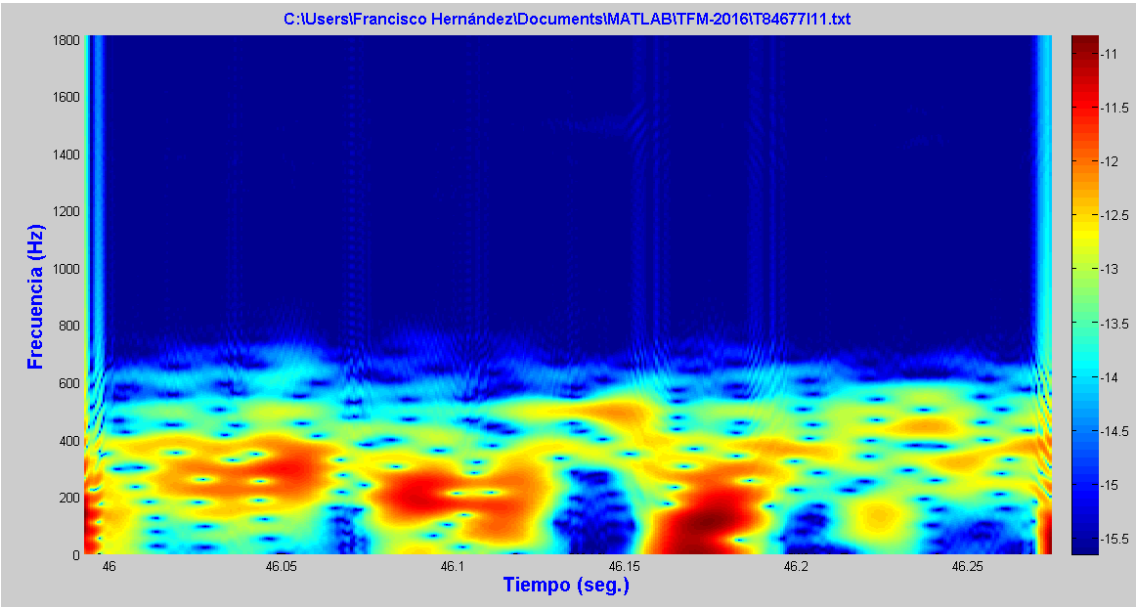
El hecho anterior supone que se tomen sólo los últimos 561 instantes de los 1.024 que teníamos inicialmente. Como hemos interpolado sobre esos 561 instantes hasta conseguir los 1.024 instantes, la frecuencia de muestreo pasa a ser de 1.000 muestras/segundo a 1.828,6 muestras/segundo.

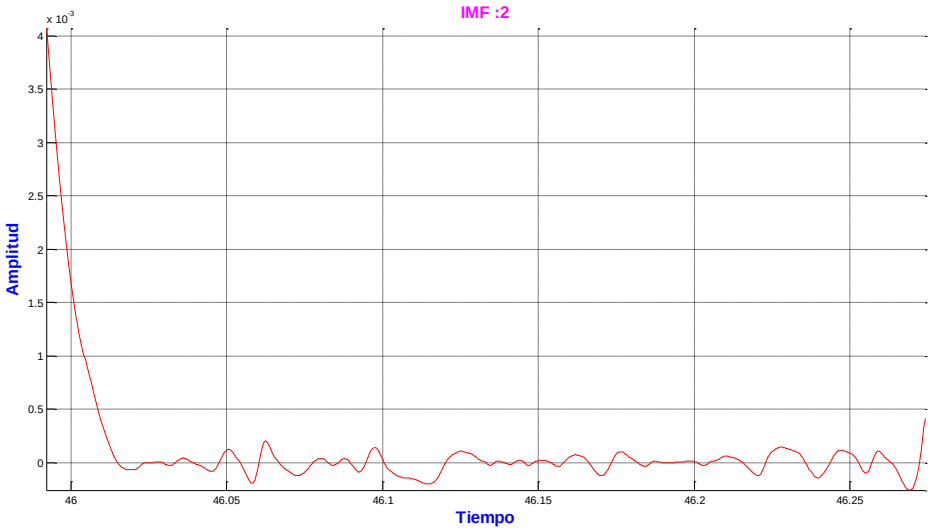
Por tanto, utilizando el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] estamos considerando un mayor rango temporal para observar el comportamiento de la señal.

Si tenemos en cuenta las IMF's obtenidas en uno y otro caso, en caso de tratarse del criterio de la máxima pendiente media, tenemos las siguientes IMF's:

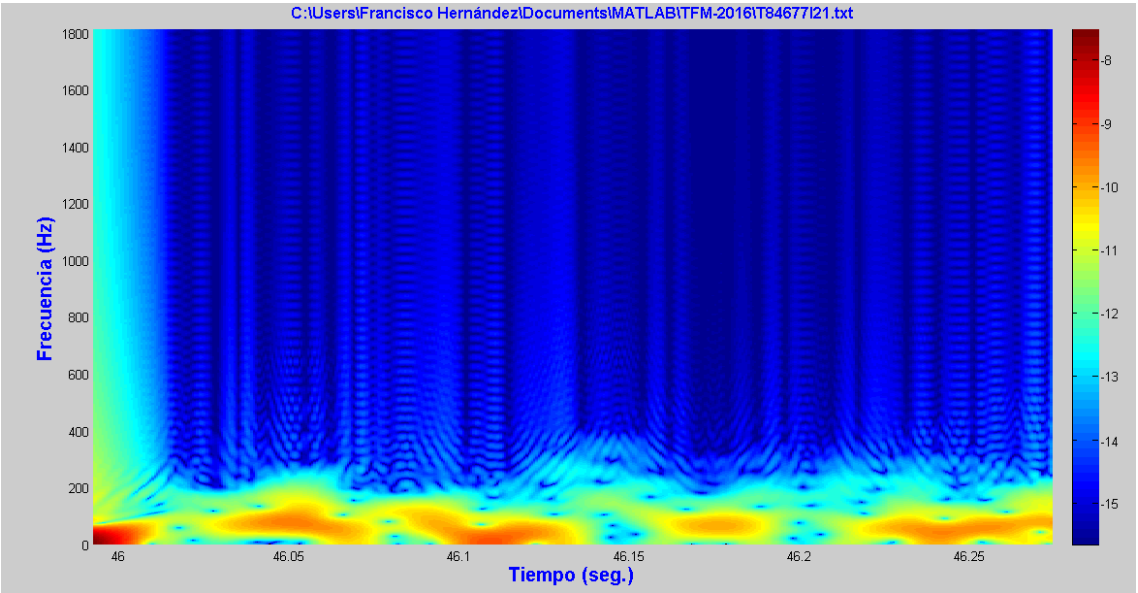


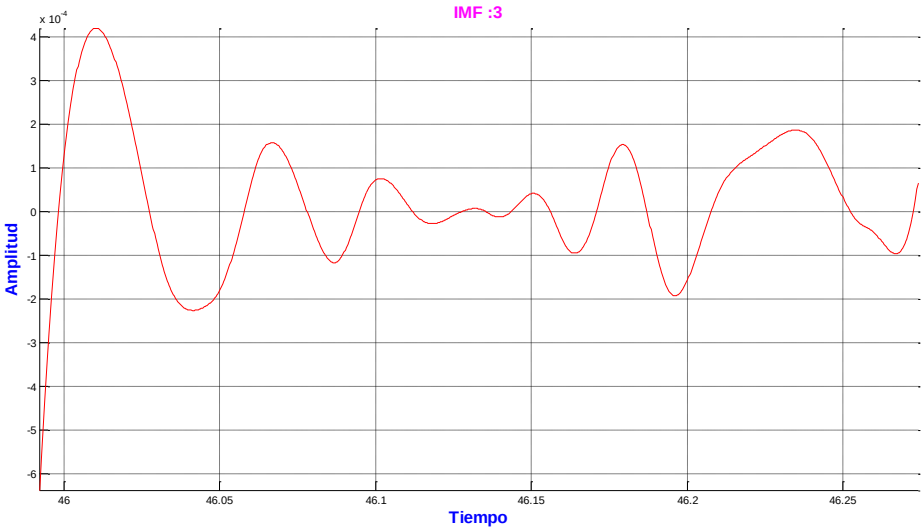
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



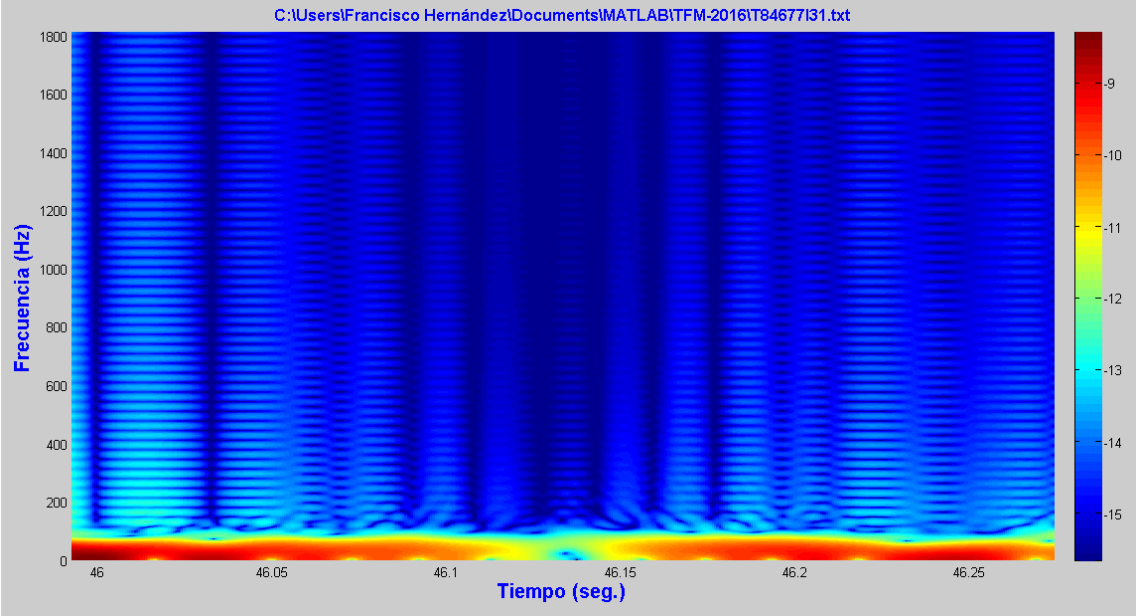


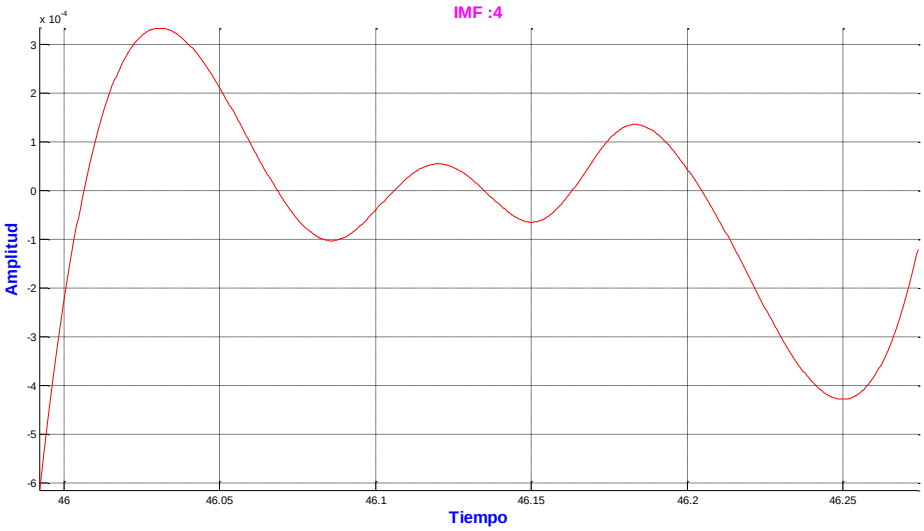
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



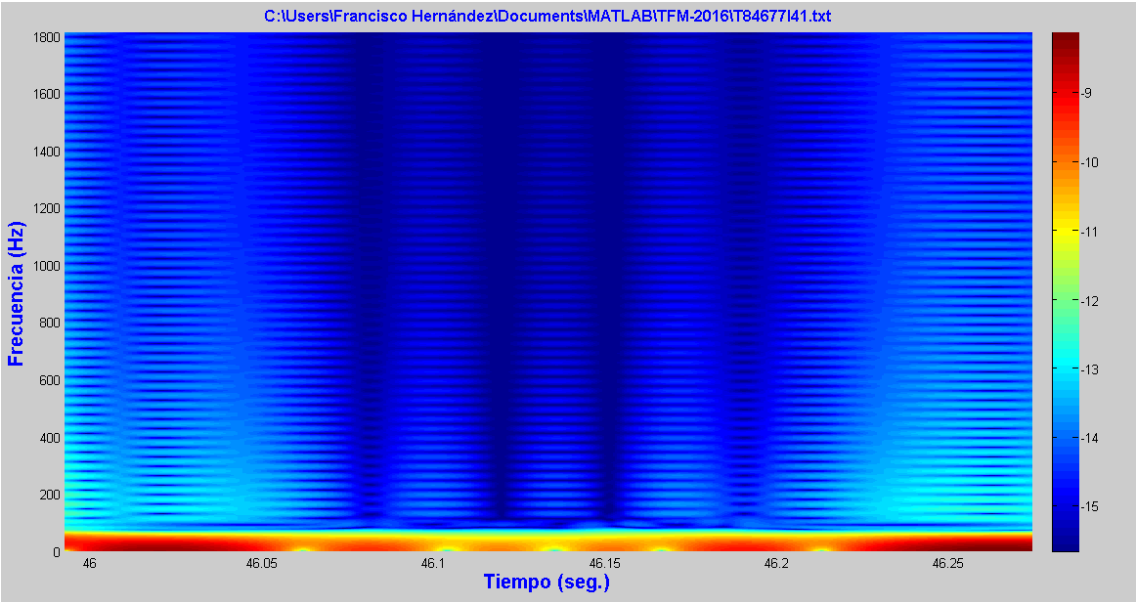


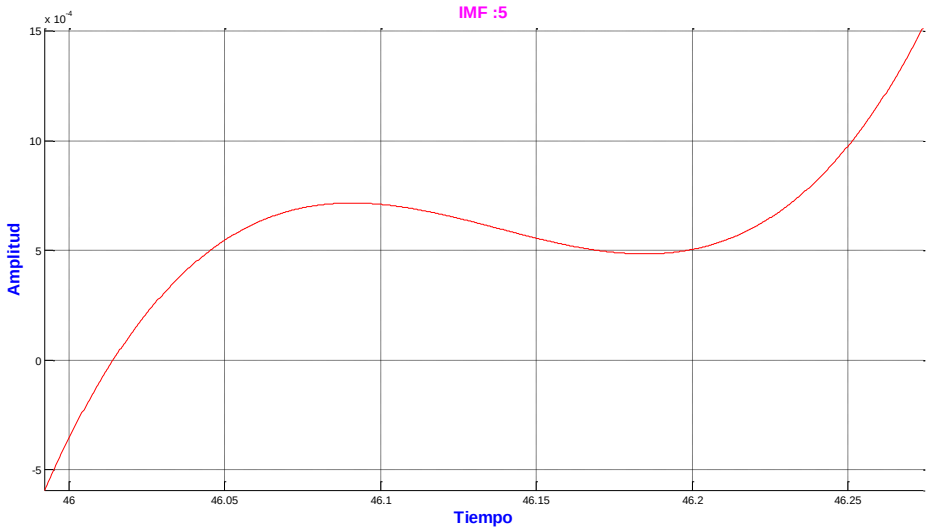
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



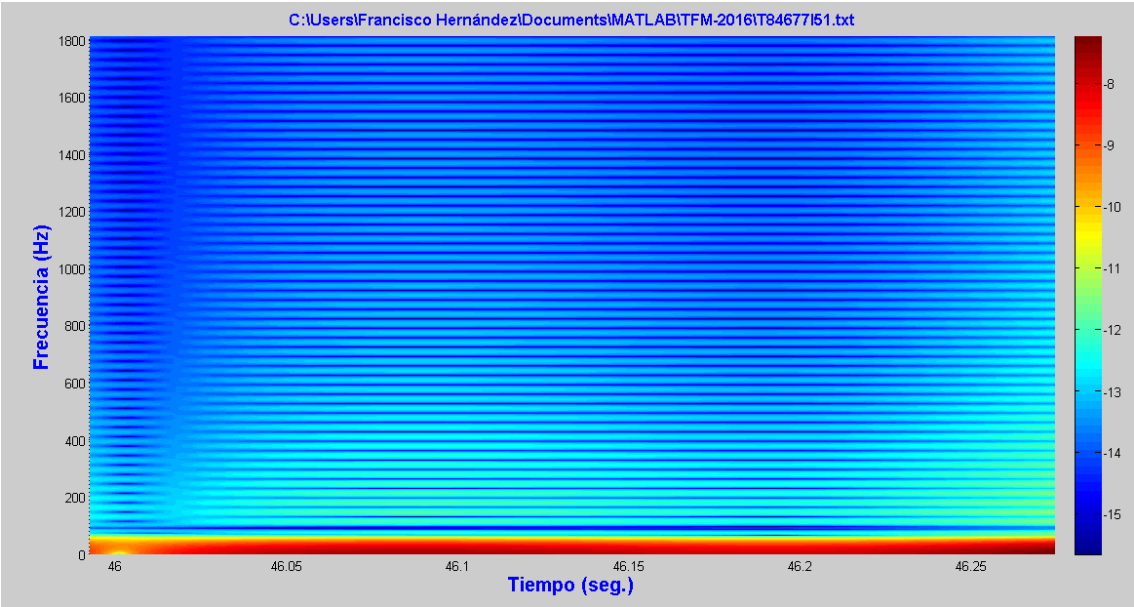


Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:

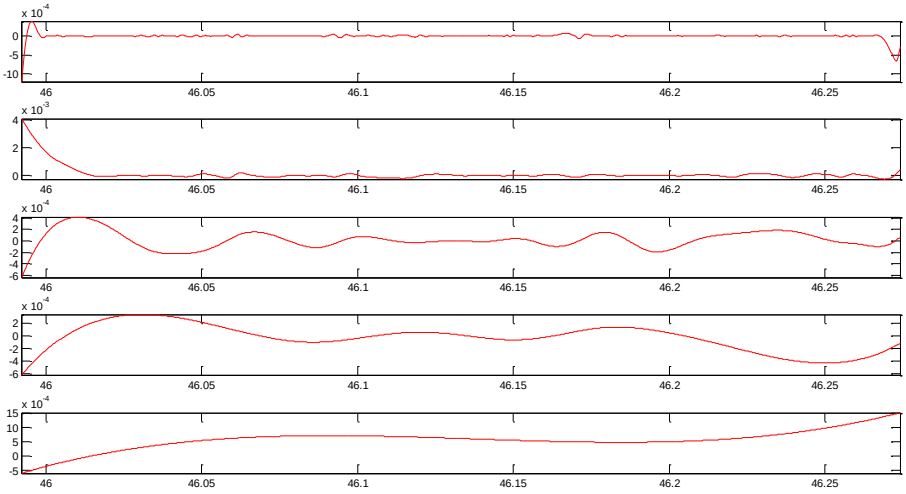




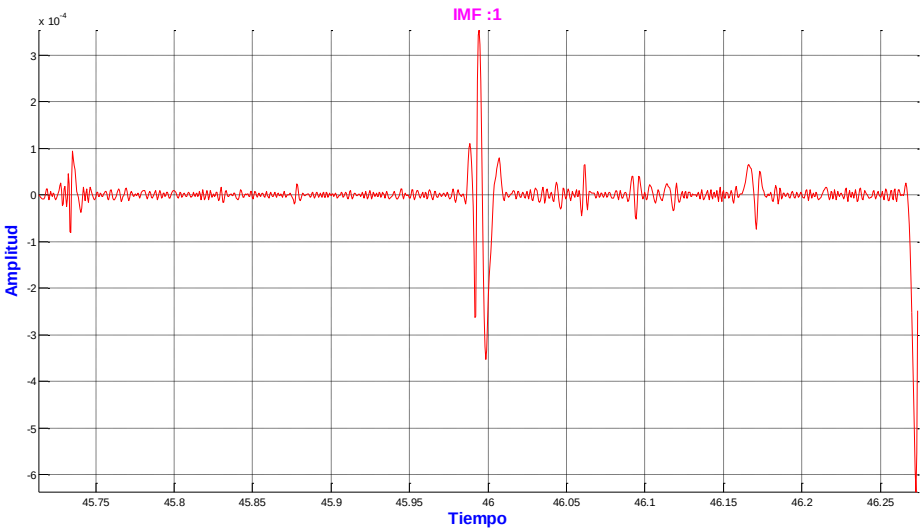
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



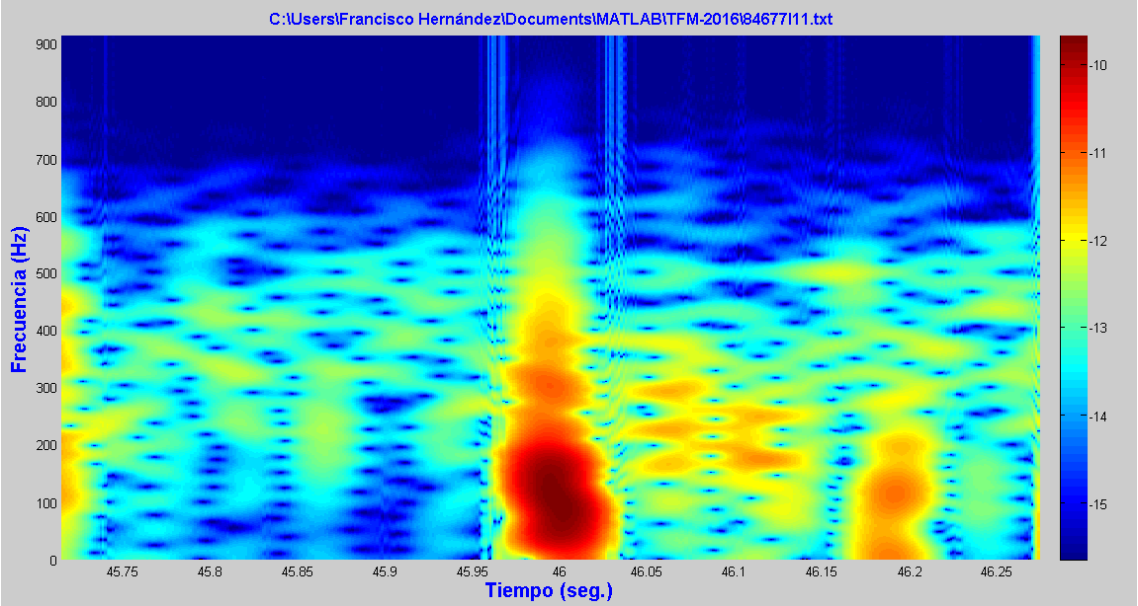
Teniendo el siguiente resumen para las IMF's obtenidas.

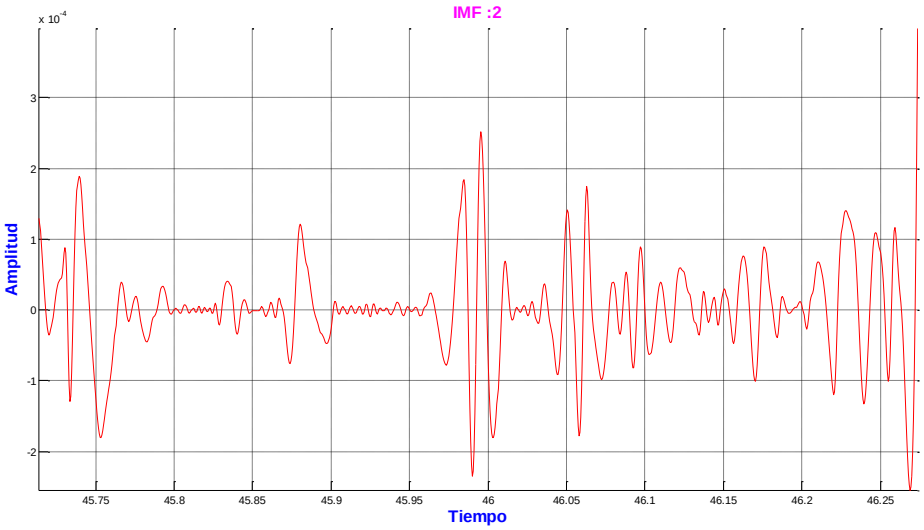


Y tratándose del Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11], se obtienen las siguientes IMF's:

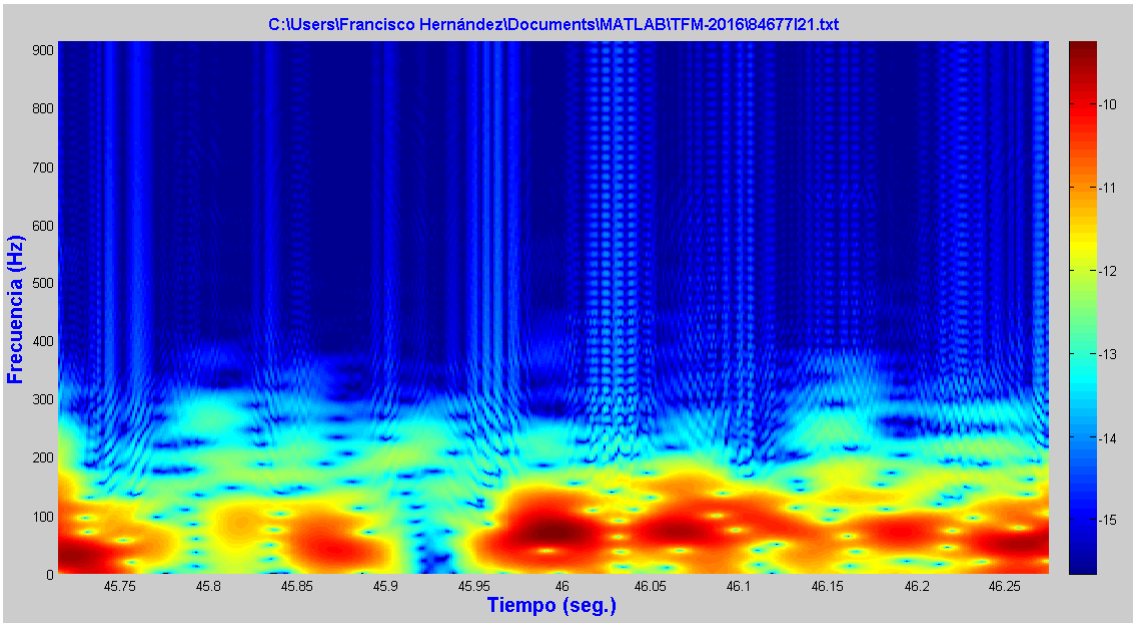


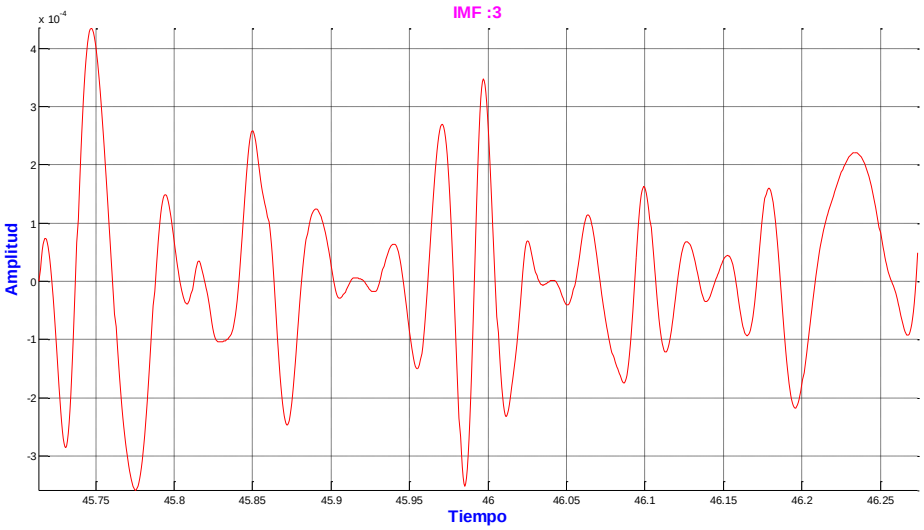
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



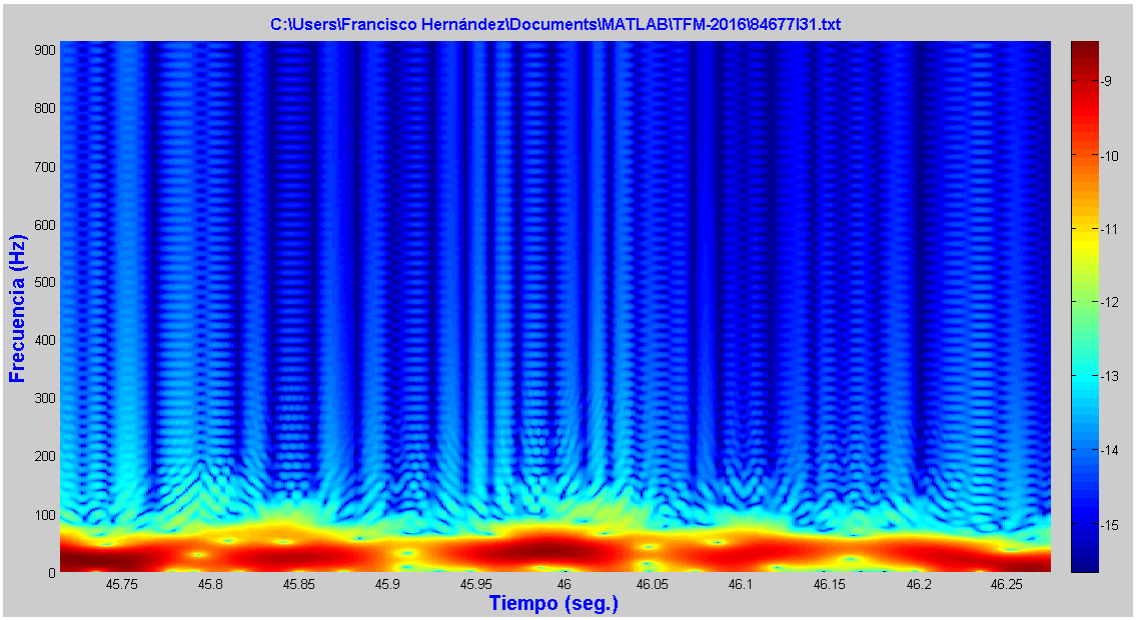


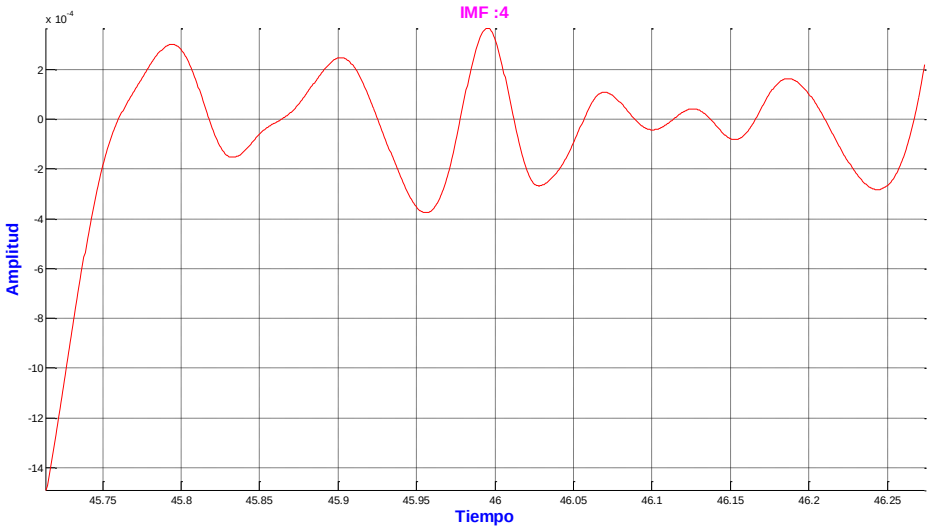
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



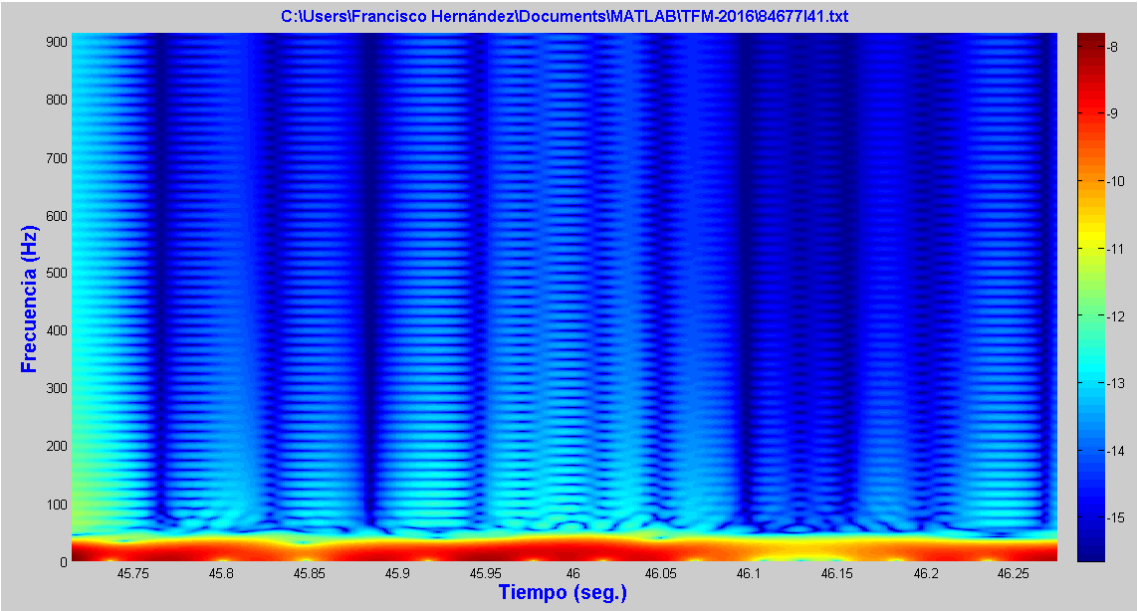


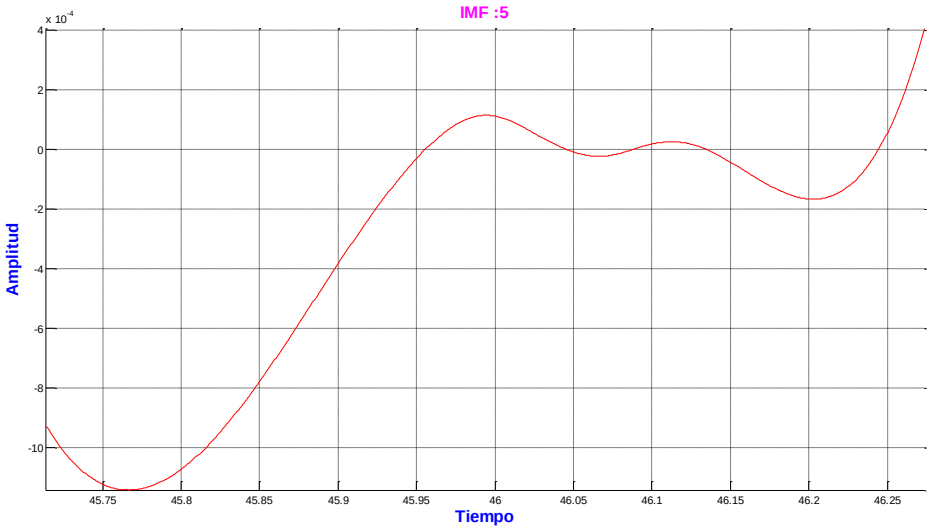
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



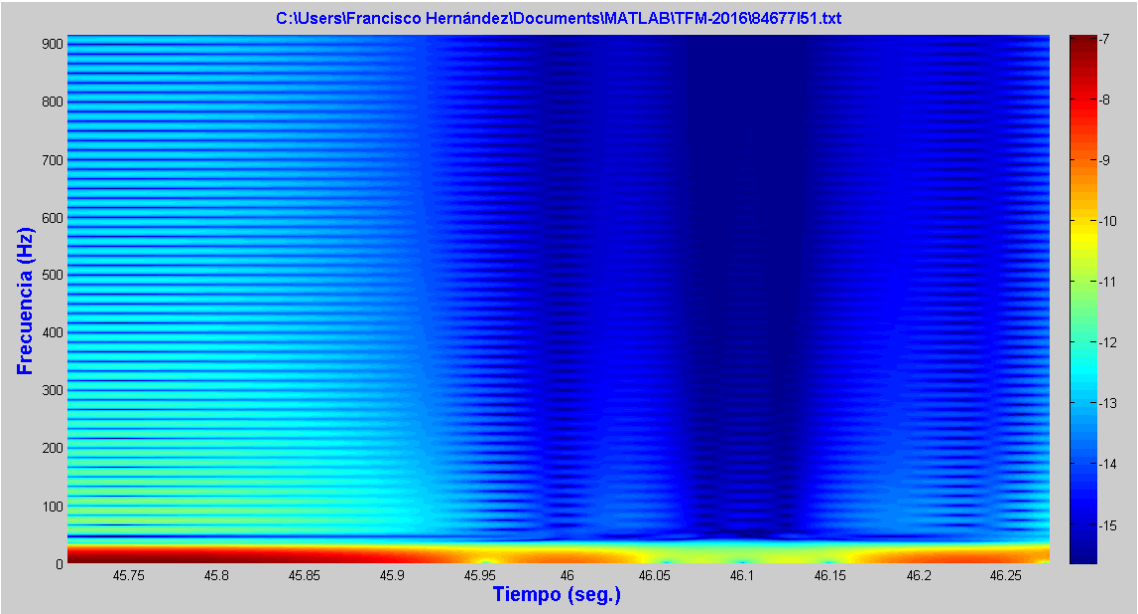


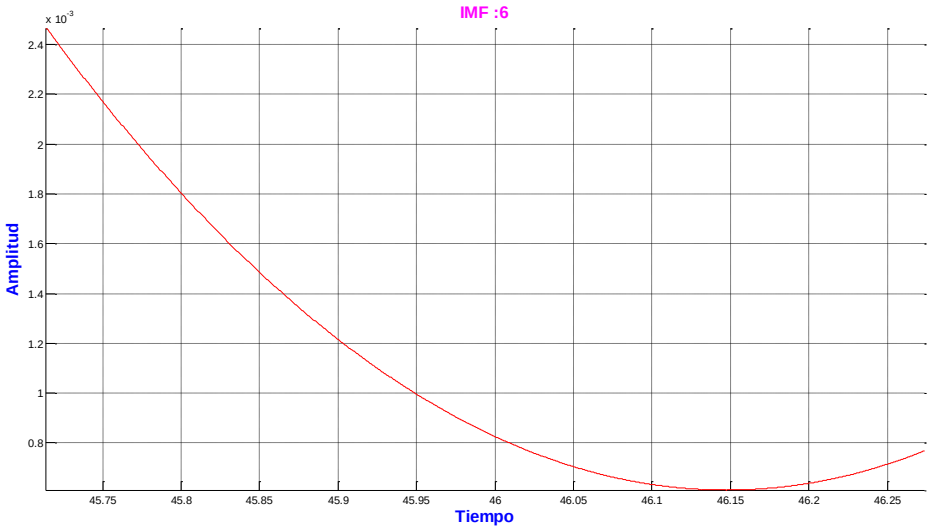
Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



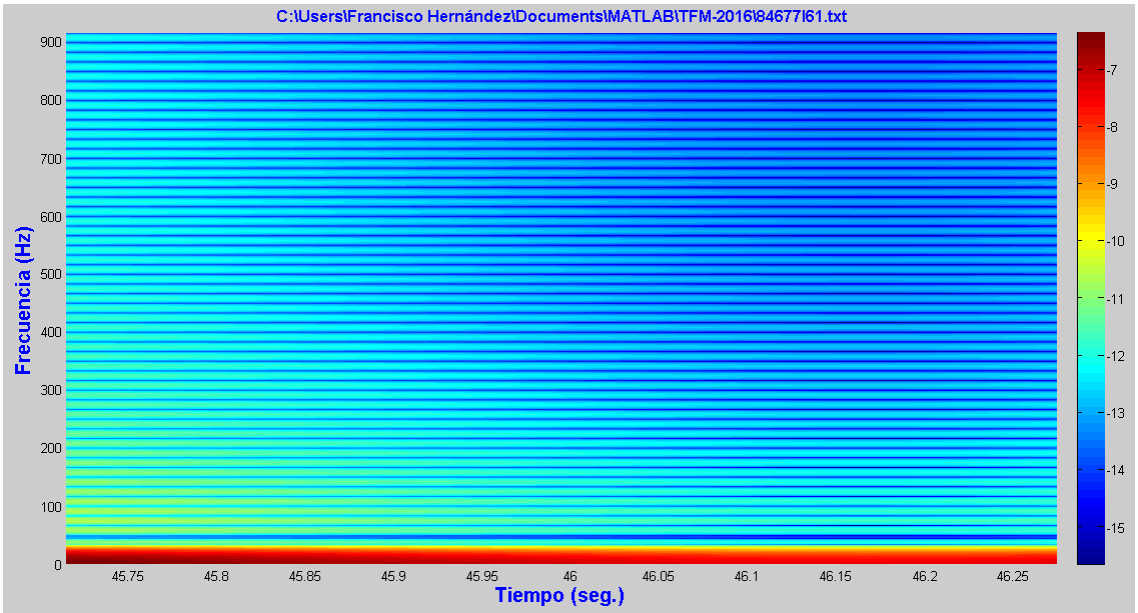


Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:

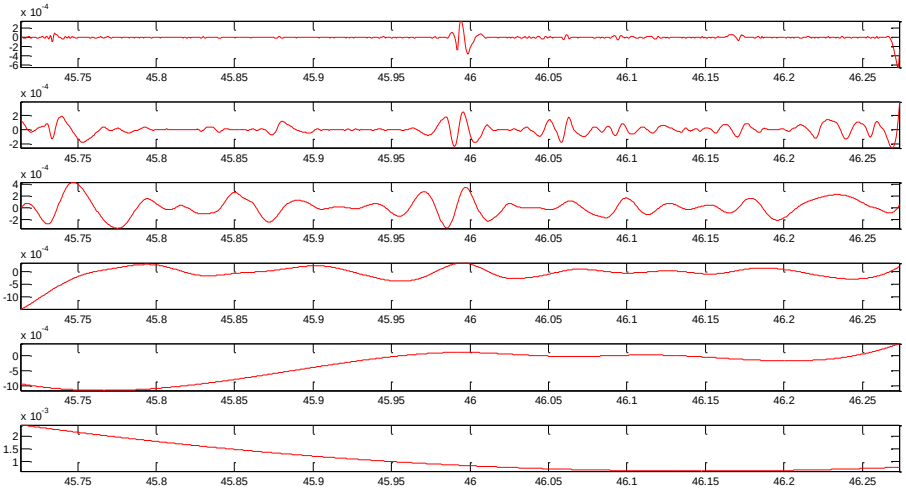




Siendo su correspondiente espectrograma, el siguiente:



Y obteniéndose el siguiente resumen para sus IMF's.



6. Tareas de Clasificación No Supervisada.

Una vez completado el proceso de filtrado según el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11], y procesado el algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005] para las 90 descargas, el siguiente proceso sería intentar clasificar dichas descargas disruptivas.

Para ello, durante el proceso de análisis del algoritmo de Hilbert-Huang [Norden 2005], fueron archivadas todas las IMF's generadas para cada una de las descargas. Y, una vez procesadas todas ellas, fueron tomados de forma conjunta los 90 ficheros que contenían el par (tiempo, amplitud) de la primera de las IMF's. Como ya se indicó anteriormente, se tomaron las componentes de la primera IMF por ser la que contiene las frecuencias más altas.

Se muestra en Tabla 6.1. el aspecto de los datos recopilados relativos a las amplitudes de la primera IMF. Para las 90 descargas, se muestran las 16 primeras componentes de amplitud; de las 1.024 disponibles.

-3,1935E-06	-6,3478E-06	-2,2893E-06	4,4634E-06	9,3875E-06	7,9594E-06	-8,2371E-07	-8,7185E-06	-7,1037E-06	1,0346E-06	6,1472E-06	3,8373E-06	-1,0545E-06	-3,4769E-06	-2,816E-06	-3,7155E-07
0	-8,898E-08	-1,9061E-07	-3,1243E-07	-4,4643E-07	-6,0035E-07	-7,6598E-07	-9,5127E-07	-1,1478E-06	-1,3637E-06	-1,5904E-06	-1,8362E-06	-2,0923E-06	-2,3672E-06	-2,652E-06	-2,9553E-06
0	1,3203E-06	2,4211E-06	3,3053E-06	3,981E-06	4,4522E-06	4,7257E-06	4,8077E-06	4,7019E-06	4,4149E-06	3,9606E-06	3,3292E-06	2,506E-06	1,6268E-06	5,5363E-07	-1,1137E-06
-0,0009518	-0,00093285	-0,00091418	-0,00089583	-0,00087771	-0,00085988	-0,0008423	-0,00082503	-0,000808	-0,00079129	-0,00077478	-0,00075826	-0,00074106	-0,00072227	-0,00070247	-0,00068297
-6,3415E-07	4,4148E-06	-6,3294E-06	-7,8914E-06	5,0222E-06	9,554E-06	-1,5688E-06	-9,559E-06	-2,6453E-06	-1,2685E-06	1,9869E-06	5,2081E-06	1,1165E-06	-2,0567E-06	9,9789E-07	3,3049E-06
-0,00119901	-0,00120135	-0,00120358	-0,0012057	-0,00120772	-0,00120963	-0,00121143	-0,00121313	-0,00121473	-0,00121622	-0,00121761	-0,00121891	-0,0012201	-0,00122119	-0,00122218	-0,00122308
0	5,2029E-06	8,853E-06	1,1014E-05	1,1737E-05	1,1079E-05	9,1401E-06	5,9779E-06	1,554E-06	-4,1015E-06	-1,0565E-05	-1,7556E-05	-2,6482E-05	-3,7785E-05	-4,4663E-05	-4,0349E-05
-0,00028298	-0,00028149	-0,00028058	-0,00027877	-0,00027504	-0,00026972	-0,00026466	-0,00025985	-0,00025516	-0,00025066	-0,00024632	-0,00024214	-0,00023813	-0,00023428	-0,00023058	-0,00022703
-5,6737E-06	-1,6364E-05	-5,3072E-06	1,2355E-05	2,1845E-05	1,6783E-05	1,662E-07	-1,6818E-05	-2,2285E-05	-1,8114E-05	-7,7463E-06	8,7623E-06	1,9207E-05	3,0083E-06	-1,7827E-05	-9,8346E-06
0	-4,9445E-06	-7,5896E-06	-8,7572E-06	-9,2958E-06	-8,64E-06	-4,2842E-06	3,7252E-06	1,2257E-05	1,3172E-05	-6,9852E-07	-1,1147E-05	-1,402E-06	7,0113E-06	7,6065E-08	-3,2601E-06
-2,095E-06	-7,2927E-06	-4,867E-06	9,3846E-07	5,8762E-06	6,1774E-06	3,1313E-06	8,7695E-07	-1,1548E-07	-2,6473E-06	-6,1329E-06	-5,2799E-06	1,3332E-06	6,5369E-06	4,8476E-06	-5,4529E-07
-6,9224E-06	-9,336E-06	-2,9105E-06	6,0617E-06	1,1325E-05	6,9883E-06	-3,6209E-06	-8,1183E-06	-1,842E-06	4,8872E-06	3,5799E-06	-1,044E-06	-2,0882E-06	9,4538E-07	3,4832E-06	2,2216E-06
0,00012953	0,00012997	0,00012955	0,00012779	0,00012456	0,00012041	0,00011541	0,00010952	0,0001028	9,5291E-05	8,6996E-05	7,7974E-05	6,8246E-05	5,783E-05	4,6783E-05	3,5126E-05
8,9466E-06	-7,875E-06	2,8516E-06	7,2485E-06	-7,2328E-06	-2,08E-06	6,6446E-06	-3,4663E-06	-4,3509E-06	1,0612E-06	2,0366E-06	-2,3259E-06	4,3877E-06	7,2159E-06	-1,0866E-05	3,2485E-06
-1,253E-05	-1,5747E-05	-9,0392E-06	2,3903E-06	1,3338E-05	1,8604E-05	1,3119E-05	-1,5886E-06	-1,4553E-05	-1,4725E-05	-3,0668E-06	8,7711E-06	1,0105E-05	2,6598E-06	-5,0696E-06	-6,1226E-06
-0,00057576	-0,00056648	-0,00055738	-0,00054843	-0,00053967	-0,00053105	-0,0005226	-0,00051432	-0,00050619	-0,00049821	-0,00049041	-0,00048274	-0,00047524	-0,00046789	-0,00046068	-0,00045363
2,7238E-05	2,5686E-05	2,4677E-05	2,3875E-05	2,2945E-05	2,1554E-05	1,937E-05	1,605E-05	1,1288E-05	5,5289E-06	7,2934E-08	-3,7326E-06	-4,6818E-06	-3,1594E-06	-5,5347E-07	1,7325E-06
5,3261E-06	7,8323E-06	3,5638E-06	-2,5601E-06	-5,5983E-06	-1,3522E-06	5,538E-06	4,9766E-06	-2,809E-06	-6,8375E-06	-2,243E-06	4,9433E-06	8,9003E-06	6,8948E-06	-1,9512E-06	-1,0783E-05
1,2753E-05	2,0666E-06	-6,3894E-06	-1,26E-05	-1,6475E-05	-1,7983E-05	-1,7052E-05	-1,3626E-05	-7,8542E-06	-1,279E-06	3,9707E-06	5,7691E-06	3,4382E-06	-7,0727E-07	-4,0182E-06	-4,0336E-06
0	4,6062E-06	8,6492E-06	1,2136E-05	1,5079E-05	1,7473E-05	1,9337E-05	2,0684E-05	2,1529E-05	2,1884E-05	2,1759E-05	2,1169E-05	2,0126E-05	1,8643E-05	1,6733E-05	1,4409E-05
6,9508E-05	6,9516E-05	6,9456E-05	6,9372E-05	6,9266E-05	6,8991E-05	6,8835E-05	6,8978E-05	6,718E-05	6,3168E-05	5,8995E-05	5,4867E-05	5,0649E-05	4,6406E-05	4,2136E-05	3,7829E-05
0,00090896	0,00080237	0,00068463	0,00057288	0,00048142	0,00039982	0,00031569	0,00023817	0,00017361	0,00012287	8,0077E-05	3,9668E-05	2,0636E-06	-1,0689E-05	6,4042E-06	2,1185E-06
-2,4616E-06	-2,1766E-07	1,6288E-06	3,0805E-06	4,1478E-06	4,8356E-06	5,152E-06	5,1046E-06	4,7001E-06	3,9436E-06	2,8481E-06	1,4115E-06	-3,5637E-07	-2,4266E-06	-4,8207E-06	-7,6188E-06
0,06058297	0,05967622	0,05878066	0,05789244	0,05701322	0,05614286	0,05528305	0,05443026	0,05358622	0,05275257	0,05192585	0,05110773	0,05029818	0,04949876	0,04870617	0,04792201
-1,6296E-06	8,3705E-07	2,4902E-06	3,3838E-06	3,5677E-06	3,0972E-06	2,0231E-06	3,9538E-07	-1,6653E-06	-3,5634E-06	-4,485E-06	-3,6119E-06	-8,1705E-07	2,4826E-06	4,6502E-06	4,1666E-06
0,00064919	0,0006337	0,0006177	0,00059848	0,00057641	0,00055372	0,00053005	0,00050545	0,00048	0,00045373	0,00042667	0,00039891	0,00037042	0,00034128	0,00031153	0,0002812
0	2,459E-06	4,5797E-06	6,4303E-06	8,1038E-06	9,6706E-06	1,1214E-05	1,2699E-05	1,403E-05	1,5129E-05	1,5996E-05	1,6665E-05	1,7152E-05	1,7458E-05	1,7577E-05	1,7511E-05
-0,00065452	-0,0006545	-0,00065455	-0,00065468	-0,00065487	-0,00065513	-0,00065547	-0,00065587	-0,00065634	-0,00065688	-0,00065748	-0,00065814	-0,00065888	-0,00065964	-0,00066055	-0,00066148
8,4864E-05	4,5223E-05	1,3482E-05	-6,6064E-06	-9,0256E-06	5,4065E-07	2,8901E-06	-4,5349E-06	5,2252E-07	1,2638E-05	4,4051E-07	-2,153E-05	-1,0765E-05	1,8392E-05	2,8392E-05	2,0312E-05
0	3,7936E-06	3,4266E-06	1,3562E-07	-4,8456E-06	-1,0281E-05	-1,4938E-05	-1,758E-05	-1,697E-05	-1,1924E-05	-2,967E-06	7,1474E-06	1,5528E-05	1,9284E-05	1,6741E-05	9,8077E-06
0,00013096	0,00011974	0,00010994	0,00010123	9,3162E-05	8,5412E-05	7,7615E-05	6,9403E-05	6,043E-05	5,073E-05	4,056E-05	3,0268E-05	2,023E-05	1,1176E-05	3,9997E-06	-4,6211E-07
-8,402E-06	-1,2387E-05	-1,0986E-05	-6,1519E-06	1,6303E-07	6,0067E-06	9,4268E-06	8,5499E-06	3,6726E-06	-2,5205E-06	-7,2263E-06	-8,6193E-06	-7,087E-06	-3,3208E-06	1,8209E-06	6,6419E-06
-0,00015657	-0,00016141	-0,00016612	-0,0001707	-0,00017515	-0,00017948	-0,00018368	-0,00018777	-0,00019175	-0,00019561	-0,00019936	-0,00020301	-0,00020654	-0,00020998	-0,00021331	-0,00021655
-4,7073E-05	-4,5124E-05	-4,05E-05	-3,3997E-05	-2,6362E-05	-1,8349E-05	-1,0744E-05	-4,2929E-06	3,8413E-07	3,2198E-06	4,251E-06	3,5362E-06	1,701E-06	-2,0467E-07	-1,127E-06	-5,074E-07
1,4661E-05	1,3203E-05	1,155E-05	9,7109E-06	7,7064E-06	5,552E-06	3,2497E-06	7,7172E-07	-1,8477E-06	-4,4906E-06	-6,8918E-06	-8,3402E-06	-8,1792E-06	-6,992E-06	-5,8804E-06	-5,1742E-06
0,00011271	0,00010696	9,8926E-05	9,0118E-05	8,1377E-05	7,2467E-05	6,3418E-05	5,4266E-05	4,5006E-05	3,5652E-05	2,6214E-05	1,6701E-05	7,135E-06	-2,4989E-06	-1,2175E-05	-2,1894E-05
-0,00014629	-0,00014234	-0,00013772	-0,00013249	-0,00012673	-0,00012053	-0,00011392	-0,00010699	-9,9812E-05	-9,244E-05	-8,4974E-05	-7,7498E-05	-6,9993E-05	-6,2497E-05	-5,5222E-05	-4,8441E-05
0	-1,3996E-06	-8,507E-07	1,0304E-06	3,6241E-06	6,32E-06	8,4993E-06	9,5455E-06	8,8422E-06	5,7732E-06	2,0309E-07	-6,4247E-06	-1,2335E-05	-1,5759E-05	-1,5039E-05	-1,0344E-05
1,981E-07	-9,7862E-06	-1,3703E-05	-1,305E-05	-9,3279E-06	-4,0345E-06	1,3309E-06	5,2694E-06	6,3034E-06	4,2056E-06	6,6719E-07	-2,4579E-06	-3,3877E-06	-1,9526E-06	4,2795E-07	2,2672E-06
2,5952E-05	3,0658E-05	3,4084E-05	3,6268E-05	3,7252E-05	3,7077E-05	3,5782E-05	3,3409E-05	3,0001E-05	2,5591E-05	2,0217E-05	1,3928E-05	6,8087E-06	-1,1582E-06	-1,0089E-05	-1,9683E-05
5,8654E-05	6,1129E-05	6,2323E-05	6,2139E-05	6,0669E-05	5,8136E-05	5,4566E-05	5,0013E-05	4,4539E-05	3,8198E-05	3,1046E-05	2,3139E-05	1,4535E-05	5,2879E-06	-4,5446E-06	-1,4905E-05
4,2831E-05	4,4254E-05	3,7135E-05	2,4354E-05	8,7044E-06	-6,9437E-06	-1,9786E-05	-2,6964E-05	-2,6592E-05	-2,0591E-05	-1,1843E-05	-3,2042E-06	3,4862E-06	7,4233E-06	7,847E-06	4,55E-06
-8,1658E-05	-7,4276E-05	-6,6568E-05	-5,8811E-05	-5,1193E-05	-4,3912E-05	-3,7233E-05	-3,1332E-05	-2,6227E-05	-2,108E-05	-1,4897E-05	-6,866E-06	1,8111E-06	8,3269E-06	9,7766E-06	4,9718E-06
-5,0526E-06	-1,1787E-06	2,1334E-06	4,8995E-06	7,1355E-06	8,8569E-06	1,008E-05	1,0796E-05	1,1074E-05	1,09E-05	1,0278E-05	9,1552E-06	7,464E-06	5,1352E-06	2,1099E-06	-1,3343E-06
-3,4271E-06	-4,8178E-06	-1,6097E-06	2,9385E-06	5,5682E-06	3,1555E-06	-2,8256E-06	-5,2824E-06	-5,3641E-07	4,9827E-06	4,4929E-06	-2,8441E-07	-4,4082E-06	-5,3803E-06	-2,8321E-06	2,3144E-06
-0,01106931	-0,01098994	-0,01091093	-0,0108323	-0,01075402	-0,01067612	-0,01059858	-0,01052165	-0,01044483	-0,01036838	-0,01029229	-0,01021656	-0,01014119	-0,01006618	-0,00999153	-0,00991724
0	4,7415E-07	9,5902E-07	1,4468E-06	1,9381E-06	2,425E-06	2,908E-06	3,3795E-06	3,8401E-06	4,2839E-06	4,7134E-06	5,1232E-06	5,5134E-06	5,8836E-06	6,2283E-06	6,5487E-06
0,00018692	0,00017091	0,00015523	0,00013989	0,00012489	0,00011022	9,5874E-05	8,1859E-05	6,8167E-05	5,4797E-05	4,1745E-05	2,901E-05	1,6588E-05	4,4763E-06	-7,3275E-06	-1,8824E-05
-3,0836E-06	1,1025E-06	3,2043E-06	3,6573E-06	2,872E-06	1,2647E-06	-7,3803E-07	-2,7212E-06	-4,2651E-06	-4,9502E-06	-4,3584E-06	-2,3685E-06	3,9454E-07	3,1986E-06	5,3132E-06	6,0019E-06
0,00846055	0,00834944	0,0082394	0,00813006	0,00802161	0,00791422	0,00780753	0,00770172	0,00759695	0,00749288	0,00738967	0,0072875	0,00718601	0,00708538	0,00698577	0,00688683
0	-9,92E-07	-1,8604E-06	-2,5908E-06	-3,1207E-06	-3,4241E-06	-3,449E-06	-3,1598E-06	-2,5131E-06	-1,4658E-06	1,9001E-08	1,9661E-06	4,1113E-06	6,0077E-06	7,2242E-06	7,3048E-06
-6,0966E-05	-4,5922E-05	-3,0463E-05	-1,5773E-05	-3,1261E-06	6,2151E-06	1,1047E-05	1,0409E-05	6,067E-06	1,2415E-06	-1,0747E-06	-7,0726E-07	3,9057E-07	2,9553E-07	-1,1408E-06	-2,2291E-06
-3,7722E-06	1,2853E-06	2,759E-06	1,7599E-06	-5,5034E-07	-3,0443E-06	-4,5743E-06	-4,001E-06	-5,6307E-07	4,4502E-06	9,0311E-06	1,1209E-05	9,9482E-06	5,678E-06	-1,0725E-06	-9,5096E-06
1,9396E-05	3,2023E-05	3,1388E-05	2,1777E-05	7,539E-06	-4,6236E-06	-5,2415E-06	2,4756E-06	4,9558E-06	5,9778E-07	-5,5849E-06	-1,0346E-05	-1,1228E-05	-6,228E-06	3,6777E-06	1,2065E-05
0	8,2679E-07	1,3153E-06	1,4771E-06	1,321E-06	8,5997E-07	1,013E-07	-9,4056E-07	-2,2597E-06	-3,8402E-06	-5,6773E-06	-7,7575E-06	-1,0053E-05	-1,2648E-05	-1,5175E-05	-1,8781E-05
-0,06225976	-0,06164346	-0,06103232	-0,06042405	-0,05981977	-0,05921948	-0,05862428	-0,05803192	-0,0574435	-0,05685903	-0,05627956	-0,05570291	-0,05513016	-0,05456236	-0,05399736	-0,05343622
0,00010045	8,2339E-05	6,8384E-05	5,6099E-05	4,2883E-05	2,6252E-05	5,8448E-06	-1,0582E-05	-1,3945E-05	-5,5791E-06	3,5574E-06	5,1944E-06	1,7378E-06	-2,2312E-06	-4,1246E-06	-3,077E-06
8,4739E-06	8,5733E-07	-3,2024E-06	-4,5089E-06	-3,8599E-06	-2,0576E-06	9,6758E-08	1,7968E-06	2,2514E-06	1,0152E-06	-1,0676E-06	-2,8674E-06	-3,2568E-06	-1,5532E-06	1,3949E-06	4,4231E-06
-2,7261E-05	-3,9626E-05	-4,1354E-05	-3,5038E-05	-2,3368E-05	-8,9528E-06	5,5327E-06	1,7465E-05	2,4182E-05	2,3292E-05	1,5817E-05	5,3236E-06	-4,5581E-06	-1,0278E-05	-1,0687E-05	-7,6145E-06
0,05435102	0,05336996	0,05239861	0,05144105	0,05049512	0,04956076	0,04863592	0,0477245	0,04682442	0,04593563	0,04505617	0,04418976	0,04333442	0,04249002	0,04165474	0,04083228
3,4497E-05	3,5405E-05	3,5854E-05	3,5859E-05	3,544E-05	3,4605E-05	3,3375E-05	3,1764E-05	2,9789E-05	2,7466E-05	2,481E-05	2,1837E-05	1,8571E-05	1,5011E-05	1,1189E-05	7,0979E-06
0	-3,8563E-06	-7,6206E-06	-1,1301E-05	-1,4885E-05	-1,8381E-05	-2,1791E-05	-2,5116E-05	-2,8363E-05	-3,1521E-05	-3,4599E-05	-3,7597E-05	-4,0516E-05	-4,3364E-05	-4,6131E-05	-4,8824E-05
-3,4301E-05	-3,3421E-05	-3,3255E-05	-3,2923E-05	-3,1471E-05	-2,796E-05	-2,1492E-05	-1,1777E-05	-1,1555E-06	7,3557E-06	1,1584E-05	1,2631E-05	1,2407E-05	1,2255E-05	1,1197E-05	7,6752E-06
5,0659E-06	8,4888E-06	1,1467E-05	1,3987E-05	1,6052E-05	1,7654E-05	1,8811E-05	1,9536E-05	1,9841E-05	1,9737E-05	1,9235E-05	1,835E-05	1,7088E-05	1,5469E-05	1,3495E-05	1,1189E-05
0	4,4669E-06	8,61E-06	1,2294E-05	1,5388E-05	1,7767E-05	1,9515E-05	2,0793E-05	2,1665E-05	2,2125E-05	2,2177E-05	2,1836E-05	2,1115E-05	2,0023E-05	1,8571E-05	1,677E-05
2,683E-05	2,4181E-05	1,606E-05	5,6749E-06	-3,7669E-06	-9,0572E-06	-7,8034E-06	-2,8174E-06	1,0771E-06	1,4316E-06	1,9014E-07	-4,215E-07	-1,2647E-07	1,7993E-07	-2,2156E-08	-1,4181E-07
2,5391E-06	3,7445E-06	2,7474E-06	3,8428E-07	-2,5321E-06	-5,1755E-06	-6,7266E-06	-6,3602E-06	-3,4892E-06	7,5457E-07	4,4574E-06	5,698E-06	3,7012E-06	1,8917E-07	-2,787E-06	-3,3086E-06
8,8049E-05	6,0858E-05	4,0363E-05	2,2206E-05	-1,2608E-05	-1,2132E-05	6,0843E-06	-5,9768E-06	6,2037E-06	-5,6501E-06	-6,3813E-07	2,5967E-06	1,988E-06	-1,8518E-06	4,296E-06	6,1997E-06
7,6147E-05	7,3184E-05	6,9891E-05	6,6832E-05	6,4567E-05	6,3327E-05	6,2353E-05	6,1036E-05	5,9519E-05	5,7958E-05	5,6307E-05	5,4548E-05	5,269E-05	5,0748E-05	4,872E-05	4,661E-05
1,5098E-05	1,1759E-06	-9,6563E-06	-1,7292E-05	-2,173E-05	-2,2876E-05	-2,1187E-05	-1,7641E-05	-1,1943E-05	-1,1036E-06	1,5407E-05	2,5698E-05	1,6465E-05	-5,4387E-06	-2,1893E-05	-2,4047E-05
-0,00087546	-0,00087215	-0,00086869	-0,00086507	-0,0008613	-0,00085738	-0,00085332	-0,00084912	-0,00084477	-0,00084029	-0,00083568	-0,00083093	-0,00082606	-0,00082106	-0,00081593	-0,00081072
1,3968E-05	1,4956E-05	1,3619E-05	1,0583E-05	6,4905E-06	1,9818E-06	-2,3144E-06	-5,7573E-06	-7,7081E-06	-7,549E-06	-5,3163E-06	-1,9849E-06	1,3952E-06	3,7782E-06	4,4276E-06	3,6746E-06
-0,00041831	-0,00041622	-0,00041412	-0,00041203	-0,00040995	-0,00040786	-0,00040578	-0,00040371	-0,00040164	-0,00039958	-0,00039752	-0,00039547	-0,00039343	-0,00039139	-0,00038935	-0,00038733
-1,7765E-06	8,6099E-07	1,6609E-06	1,1609E-06	-1,0111E-07	-1,5851E-06	-2,7566E-06	-3,0774E-06	-2,012E-06	4,6333E-07	3,2001E-06	4,8865E-06	4,2234E-06	9,9867E-07	-3,0865E-06	-6,1415E-06
0	2,3343E-06	4,3666E-06	6,1425E-06	7,7374E-06	9,1991E-06	1,0601E-05	1,1992E-05	1,3428E-05	1,4859E-05	1,623E-05	1,7473E-05	1,8561E-05	1,9497E-05	2,0293E-05	2,0953E-05
-3,6154E-05	-3,3119E-05	-3,0195E-05	-2,7395E-05	-2,4705E-05	-2,2135E-05	-1,9674E-05	-1,7332E-05	-1,5097E-05	-1,2978E-05	-1,0966E-05	-9,0661E-06	-7,2723E-06	-5,5888E-06	-4,0098E-06	-2,5387E-06
7,5289E-05	7,3863E-05	7,2128E-05	7,009E-05	6,7757E-05	6,5129E-05	6,2224E-05	5,9044E-05	5,5594E-05	5,1883E-05	4,7915E-05	4,3699E-05	3,924E-05	3,4546E-05	2,9623E-05	2,4468E-05
-0,00302077	-0,00284028	-0,00266669	-0,00249906	-0,00233812	-0,002183	-0,00203437	-0,00189141	-0,00175474	-0,0016236	-0,00149854	-0,00137887	-0,00126507	-0,00115651	-0,00105364	-0,00095585
2,1536E-06	-2,1439E-06	-3,3212E-06	-2,0738E-06	9,4103E-07	5,0646E-06	9,6037E-06	1,39E-05	1,7292E-05	1,9272E-05	2,0395E-05	2,1575E-05	2,3719E-05	2,7355E-05	3,0306E-05	2,9277E-05
1,9574E-05	2,414E-05	2,3932E-05	2,0046E-05	1,3624E-05	5,7977E-06	-2,323E-06	-9,6035E-06	-1,4915E-05	-1,7156E-05	-1,6014E-05	-1,2317E-05	-6,9806E-06	-9,1635E-07	4,9569E-06	9,7081E-06
6,6723E-06	-4,1972E-06	-8,8654E-06	-8,7601E-06	-5,335E-06	-1,8052E-08	5,7544E-06	1,0546E-05	1,292E-05	1,1488E-05	5,6117E-06	-2,3503E-06	-9,709E-06	-1,3735E-05	-1,1976E-05	-5,3343E-06
0	7,2264E-07	-2,3812E-07	-1,8574E-06	-3,1181E-06	-3,0384E-06	-1,453E-06	1,0092E-06	3,7725E-06	6,4118E-06	8,6192E-06	1,0431E-05	1,1966E-05	1,325E-05	1,4274E-05	1,5029E-05
-3,2885E-05	-1,5489E-05	-3,3707E-06	4,2862E-06	8,2398E-06	9,3084E-06	8,2896E-06	5,9929E-06	3,1904E-06	6,9323E-07	-7,1071E-07	-7,5804E-07	1,0316E-08	1,0084E-06	1,6436E-06	1,3452E-06
2,4955E-06	7,7621E-06	1,0292E-05	1,0554E-05	9,0135E-06	6,1311E-06	2,3909E-06	-1,7491E-06	-5,8214E-06	-9,3587E-06	-1,1894E-05	-1,2959E-05	-1,2088E-05	-9,1438E-06	-4,7755E-06	2,4918E-07
8,2404E-06	1,3581E-06	-2,8465E-06	-4,8218E-06	-5,0157E-06	-3,8766E-06	-1,8525E-06	6,0828E-07	3,0572E-06	5,0474E-06	6,1298E-06	5,8563E-06	3,844E-06	3,9445E-07	-3,7828E-06	-7,9727E-06
-9,0919E-05	-8,8067E-05	-8,4248E-05	-7,9641E-05	-7,429E-05	-6,8377E-05	-6,2037E-05	-5,5438E-05	-4,8646E-05	-4,1831E-05	-3,5129E-05	-2,8674E-05	-2,2582E-05	-1,6775E-05	-1,1228E-05	-5,8914E-06
4,3012E-05	4,0891E-05	3,4407E-05	2,4978E-05	1,3963E-05	2,7804E-06	-7,2091E-06	-1,4591E-05	-1,8E-05	-1,6231E-05	-1,0373E-05	-2,8714E-06	3,7784E-06	7,2008E-06	6,9798E-06	4,5372E-06
5,7685E-05	5,8786E-05	5,5083E-05	4,754E-05	3,7281E-05	2,5409E-05	1,292E-05	9,4466E-07	-9,499E-06	-1,7315E-05	-2,1422E-05	-2,0827E-05	-1,584E-05	-8,3121E-06	-1,8336E-07	6,6182E-06
-9,1531E-06	-9,1978E-06	-6,1064E-06	-1,434E-06	3,2273E-06	6,3271E-06	6,2824E-06	2,2967E-06	-2,8681E-06	-5,5142E-06	-3,0296E-06	2,1656E-06	6,0965E-06	5,6835E-06	1,8882E-06	-3,0651E-06
0	2,6491E-06	4,9076E-06	6,7998E-06	8,3148E-06	9,4732E-06	1,0268E-05	1,0717E-05	1,0817E-05	1,058E-05	1,0004E-05	9,1009E-06	7,8817E-06	6,3583E-06	4,5128E-06	2,3188E-06

Tabla 6.1. Amplitudes de las 16 primeras muestras de la primera IMF.

De la misma manera, en Tabla 6.2. se muestran las 16 últimas componentes de amplitud; de las 1.024 disponibles para las 90 descargas:

2,752E-06	5,6546E-06	2,8694E-06	-4,6776E-07	-9,3202E-07	-9,65E-08	-3,5443E-08	-4,6207E-07	2,4304E-07	2,7609E-06	6,2015E-06	9,7089E-06	1,3716E-05	1,9147E-05	2,6908E-05	3,7938E-05
0,00023535	0,00024588	0,00025632	0,00026667	0,00027694	0,00028711	0,0002972	0,00030719	0,00031709	0,00032689	0,00033661	0,00034622	0,00035574	0,00036515	0,00037447	0,00038367
5,5813E-06	-1,0975E-05	-8,8086E-06	7,2651E-06	1,1182E-05	-1,2745E-05	-1,5954E-05	3,583E-06	3,6799E-06	1,6187E-05	5,1745E-05	5,9551E-05	6,3351E-05	9,9394E-05	0,00013275	0,00011796
8,9131E-07	1,2478E-06	-1,8936E-06	-1,9094E-06	2,8102E-06	2,6583E-06	-4,4182E-06	-5,7879E-06	4,7826E-06	1,6637E-05	1,6588E-05	-9,1276E-06	-5,8937E-05	-8,5314E-05	-3,2625E-05	0,00015508
1,7833E-07	4,2106E-06	-2,8587E-06	-6,8256E-06	9,2439E-06	2,4502E-06	-1,1183E-05	-1,8161E-05	-4,1747E-05	-5,5237E-05	-6,1337E-05	-6,5623E-05	-5,4858E-05	-4,7083E-05	-5,3908E-06	0,00014636
4,9981E-05	5,2838E-05	5,5617E-05	5,8319E-05	6,0942E-05	6,3474E-05	6,5939E-05	6,8325E-05	7,063E-05	7,2853E-05	7,4995E-05	7,7055E-05	7,9017E-05	8,091E-05	8,272E-05	8,4444E-05
0,00018347	0,00018891	0,00019254	0,00019409	0,00019365	0,00019132	0,00018682	0,00018038	0,00017169	0,00016087	0,00014803	0,00013285	0,0001156	9,5938E-05	7,416E-05	4,9899E-05
-2,9018E-06	4,8135E-06	-2,6399E-06	-3,7508E-06	3,6135E-06	3,1058E-06	-3,584E-06	3,4564E-06	3,9029E-06	-2,2765E-06	2,07E-07	1,7784E-06	-4,0923E-06	7,0795E-06	1,9456E-05	-3,4765E-05
-1,0647E-05	-4,0093E-05	-2,7111E-05	1,1909E-05	5,0721E-05	6,8338E-05	5,4239E-05	9,1877E-06	-5,1638E-05	-0,00010954	-0,00015965	-0,0002045	-0,00025138	-0,00024505	-6,6685E-05	0,00040511
1,8781E-05	2,46E-05	1,6453E-05	-1,9243E-06	-2,8442E-05	-6,3126E-05	-0,00011119	-0,00017615	-0,00025235	-0,00033363	-0,00041479	-0,00049816	-0,00058916	-0,00063666	-0,00055312	-0,00024903
-2,8943E-06	-4,6509E-06	-8,2743E-06	-1,514E-05	-2,361E-05	-3,1293E-05	-3,7467E-05	-4,185E-05	-3,9169E-05	-2,0722E-05	1,3612E-05	5,4391E-05	9,4018E-05	0,00012858	0,00015449	0,00016832
-9,7105E-06	2,0287E-06	5,5751E-06	-9,788E-07	-4,9025E-06	1,1956E-06	1,2936E-05	2,4237E-05	2,7919E-05	1,7101E-05	-1,0262E-05	-5,3182E-05	-0,00010053	-0,00013084	-0,00012257	-5,3807E-05
9,0627E-06	-9,5352E-06	-8,8487E-06	4,2337E-06	6,5364E-06	-4,9936E-06	-2,9958E-06	2,6285E-06	-2,0434E-06	1,834E-06	1,8234E-06	-2,0378E-06	2,2145E-06	1,6677E-06	-2,141E-06	1,66E-06
3,1757E-06	-6,7223E-06	-5,4206E-06	4,7145E-06	3,5794E-06	-3,8007E-06	5,8782E-06	1,5688E-07	-2,2025E-05	-3,3518E-05	-2,5655E-05	-9,4143E-06	1,2229E-05	6,2522E-05	0,00014837	0,00026951
9,2435E-06	7,8143E-06	7,6814E-07	-6,6683E-06	-8,1779E-06	-1,95E-06	5,6498E-06	7,4422E-06	2,215E-06	-4,7248E-06	-8,0361E-06	-6,4842E-06	-1,6376E-06	4,6733E-06	1,0817E-05	1,5098E-05
8,5954E-07	-2,1768E-06	-2,1505E-06	-8,9094E-07	-1,4246E-08	2,1965E-06	5,7458E-06	3,8637E-06	-6,3109E-06	-9,992E-06	2,555E-06	1,3097E-05	5,3076E-06	-1,0335E-05	-1,7432E-05	3,5412E-07
-2,3116E-05	3,7773E-05	9,2949E-05	0,00012454	0,00011491	6,2399E-05	-9,3763E-06	-7,4546E-05	-0,00010828	-0,00010488	-7,5367E-05	-3,1572E-05	1,4904E-05	5,2387E-05	6,92E-05	5,3672E-05
-5,8606E-06	6,7512E-07	5,6359E-06	1,6323E-06	-4,1054E-06	-2,9209E-06	1,4587E-06	1,0532E-06	-1,3389E-06	3,766E-06	9,9906E-06	-3,9667E-06	-3,7189E-05	-5,4099E-05	-1,6522E-05	0,00011408
-4,0161E-08	2,868E-06	9,2768E-06	1,752E-05	2,5925E-05	3,21E-05	3,0051E-05	1,2045E-05	-3,0146E-05	-9,4859E-05	-0,00015967	-0,00019831	-0,00018432	-9,244E-05	0,00010427	0,00043086
2,2806E-06	1,3464E-07	-1,3412E-06	-1,6882E-07	3,9904E-06	1,0215E-05	1,215E-05	1,6781E-08	-2,2463E-05	-3,7912E-05	-4,5482E-05	-6,8447E-05	-0,00010763	-0,00011542	-3,8903E-05	0,00017494
-8,7541E-05	-0,0001855	-0,00032466	-0,0004904	-0,00065164	-0,00084492	-0,00107784	-0,00132703	-0,0016086	-0,00191366	-0,00221297	-0,00251933	-0,00281259	-0,00304096	-0,00318297	-0,00322716
1,087E-05	2,0528E-06	-1,2686E-05	-2,5522E-06	1,0512E-05	1,5588E-06	-9,3872E-06	-9,4817E-06	3,9626E-06	3,1501E-05	3,4385E-05	-4,8144E-05	-7,891E-05	4,5757E-05	0,00015524	4,1119E-05
-5,5322E-06	3,7616E-06	1,5144E-05	1,6843E-05	6,8776E-06	-5,3792E-06	-5,7308E-06	2,046E-06	-5,5151E-07	9,879E-06	1,6092E-05	-6,5068E-05	-7,7416E-05	0,00010709	0,00020981	-0,0001094
-0,00039588	-0,00046123	-0,00053917	-0,00062161	-0,00070388	-0,0007895	-0,00088345	-0,0009912	-0,00111473	-0,00124497	-0,00136988	-0,00147472	-0,00154811	-0,00159375	-0,00161806	-0,00162827
1,2053E-05	1,0272E-05	4,154E-06	-2,666E-06	-6,341E-06	-3,9017E-06	2,2038E-06	6,8943E-06	5,2316E-06	-4,6063E-06	-1,7891E-05	-2,8766E-05	-3,1317E-05	-1,9994E-05	1,1264E-05	6,7935E-05
0,00018495	0,00015396	0,00012309	9,2338E-05	6,1671E-05	3,1106E-05	6,45E-07	-2,9714E-05	-5,9969E-05	-9,012E-05	-0,00012016	-0,0001501	-0,00017994	-0,00020966	-0,00023926	-0,00026876
3,6363E-05	3,914E-05	4,1882E-05	4,5585E-05	4,7253E-05	4,9882E-05	5,2475E-05	5,5028E-05	5,7545E-05	6,0023E-05	6,2459E-05	6,486E-05	6,7217E-05	6,9538E-05	7,1814E-05	7,4054E-05
-3,4448E-06	2,5875E-06	-1,1593E-05	-2,9872E-05	-4,4982E-05	-6,4834E-05	-8,7412E-05	-0,00010127	-0,00011173	-0,0001734	-0,0001749	0,00013142	0,00030298	0,00022304	-6,3805E-05	-0,00059259
-3,3358E-06	3,3708E-06	3,7072E-06	-5,804E-06	-5,0527E-06	1,3862E-05	2,721E-05	2,2244E-05	6,462E-06	-2,8026E-05	-0,00010205	-0,00018087	-0,00019298	-0,00010947	7,643E-05	0,00037023
6,7499E-06	1,1762E-05	1,0351E-05	-6,8537E-07	-1,9223E-05	-4,1351E-05	-6,31E-05	-8,0646E-05	-9,04E-05	-8,9373E-05	-7,4367E-05	-4,208E-05	1,0316E-05	8,6091E-05	0,00018865	0,00032062
-2,0054E-05	-1,5831E-05	-2,0091E-06	1,667E-05	3,5748E-05	5,1538E-05	6,2512E-05	6,7676E-05	6,5459E-05	5,5151E-05	3,6208E-05	8,1063E-06	-2,9679E-05	-7,7325E-05	-0,00013602	-0,00020598
2,7431E-07	-3,2703E-06	-3,7474E-06	6,0946E-07	5,9715E-06	7,4697E-06	1,1971E-06	-9,7588E-06	-1,9221E-05	-2,1222E-05	-1,4168E-05	-4,3461E-07	1,7457E-05	3,6985E-05	5,563E-05	7,087E-05
5,4102E-06	1,3446E-06	-3,3019E-06	1,3648E-06	-3,7989E-07	-5,8306E-07	-4,122E-07	-4,1543E-07	4,7314E-06	1,7215E-05	-2,118E-05	-5,5726E-05	6,1025E-05	0,00012367	2,8979E-05	-0,00021302
-1,1807E-05	-9,5698E-06	1,6646E-06	1,8051E-05	3,3707E-05	4,2463E-05	3,9785E-05	2,3868E-05	-7,4503E-06	-5,381E-05	-0,00010141	-0,00013362	-0,00013268	-8,1701E-05	3,608E-05	0,0002386
-6,0302E-06	1,4433E-06	3,9877E-06	-2,8321E-07	-2,9944E-06	4,5589E-07	4,9587E-06	4,8821E-06	-8,6603E-07	-1,1966E-05	-2,6186E-05	-4,0335E-05	-4,6846E-05	-3,3835E-05	1,0927E-05	9,9292E-05
4,1687E-06	-6,6995E-06	-3,1737E-06	8,5606E-06	-2,1291E-06	-1,7192E-05	-4,0265E-05	-6,6906E-05	-7,2426E-05	-7,1308E-05	-6,1908E-05	-1,7389E-05	9,1503E-05	0,00024259	0,00035322	0,0003103
7,2271E-06	2,7156E-05	4,6707E-05	6,0499E-05	6,7359E-05	7,2639E-05	8,0688E-05	8,767E-05	8,6759E-05	7,5807E-05	5,9545E-05	4,1971E-05	2,0566E-05	-8,6475E-06	-4,9585E-05	-0,00010673
3,0096E-06	4,6039E-06	5,0033E-06	3,8306E-06	1,1459E-06	-2,9315E-06	-8,368E-06	-1,4864E-05	-2,1246E-05	-2,607E-05	-2,7889E-05	-2,5257E-05	-1,6665E-05	-7,9012E-07	2,3873E-05	5,8769E-05
-2,9551E-06	-3,6836E-05	-7,2198E-05	-9,3158E-05	-8,4281E-05	-4,0696E-05	3,1747E-05	0,00012672	0,00023709	0,0003463	0,00043166	0,00047035	0,00043959	0,00031655	7,8447E-05	-0,00029753
1,5171E-06	-5,5117E-06	-5,0495E-06	2,0601E-06	3,5507E-06	-6,2878E-07	-1,305E-06	4,6569E-07	-1,4115E-06	-1,9004E-06	7,4422E-06	1,1503E-05	-1,0167E-05	-4,1378E-05	-5,1783E-05	-1,1007E-05
-1,2668E-05	1,0689E-05	7,2041E-06	-4,6067E-06	-4,2795E-06	8,145E-07	-2,4412E-06	3,0383E-06	1,9407E-05	9,951E-06	-2,1377E-05	-4,4994E-05	-0,0001476	-5,1927E-05	0,00024859	0,00037056
1,1255E-05	1,6232E-05	2,167E-05	2,5528E-05	2,5372E-05	1,8828E-05	6,2431E-06	-9,6252E-06	-2,5725E-05	-3,9663E-05	-5,1096E-05	-5,987E-05	-6,6253E-05	-7,0021E-05	-7,1519E-05	-7,0439E-05
-0,00014187	-0,00021231	-0,0002871	-0,00037008	-0,0004649	-0,00057608	-0,00070383	-0,00084167	-0,00098384	-0,00112524	-0,00126243	-0,00139457	-0,00151901	-0,00163448	-0,00173979	-0,00183217
8,0345E-06	4,6726E-06	-3,4735E-07	-6,7215E-06	-1,384E-05	-2,1085E-05	-2,7839E-05	-3,3439E-05	-3,7075E-05	-3,7871E-05	-3,5051E-05	-2,7742E-05	-1,5102E-05	3,7097E-06	2,9536E-05	6,3217E-05
4,3738E-06	2,139E-06	-1,8034E-06	-5,2377E-06	-5,065E-06	-6,8578E-07	5,6777E-06	9,905E-06	3,3007E-06	-1,8711E-05	-3,1653E-05	-3,0896E-06	5,2825E-05	8,3847E-05	3,6611E-05	-0,00014224
0,00015554	0,00017166	0,00018781	0,00020398	0,00022018	0,00023641	0,00025267	0,00026895	0,00028527	0,00030162	0,00031799	0,00033439	0,00035082	0,00036728	0,00038378	0,0004003
-0,00081667	-0,00087299	-0,00092947	-0,00098499	-0,00103765	-0,00108612	-0,00113063	-0,00117212	-0,00121238	-0,00125161	-0,00128797	-0,00131812	-0,00133961	-0,00134908	-0,00134408	-0,00132124
1,7154E-05	2,5153E-05	3,2836E-05	4,0193E-05	4,7217E-05	5,3904E-05	6,0245E-05	6,6235E-05	7,1868E-05	7,7135E-05	8,2032E-05	8,6551E-05	9,0685E-05	9,443E-05	9,7777E-05	0,00010072
-0,00045583	-0,00050794	-0,00056555	-0,00062681	-0,00069047	-0,00075534	-0,00081947	-0,00088156	-0,00094037	-0,00099374	-0,0010404	-0,00107917	-0,00110776	-0,00112498	-0,00112968	-0,00111948
-2,9723E-07	-3,1615E-06	-1,9468E-06	6,3506E-06	1,5904E-06	-2,7393E-05	-5,5092E-05	-8,1811E-05	-0,00011792	-0,0001271	-3,6614E-05	0,00022209	0,00046401	0,00050069	0,00037847	0,00017407
-5,3547E-05	-9,3943E-05	-0,00013285	-0,00016113	-0,00017071	-0,0001528	-0,00010509	-3,6261E-05	4,5366E-05	0,00013017	0,00020992	0,00027491	0,00031698	0,00032636	0,00029495	0,00021293
-2,3076E-06	-5,2551E-06	-4,1661E-06	5,2245E-06	2,0658E-05	3,3963E-05	3,6879E-05	2,5163E-05	9,0566E-07	-3,3896E-05	-7,4345E-05	-0,00011073	-0,00013342	-0,00013219	-9,6727E-05	-1,753E-05
6,5157E-05	6,313E-05	5,7718E-05	4,2695E-05	1,1746E-05	-4,0425E-05	-9,9118E-05	-0,0001375	-0,00012774	-5,6642E-05	4,9493E-05	0,00015599	0,00022923	0,00023447	0,00013816	-9,4515E-05
2,6354E-06	3,202E-05	6,1432E-05	7,4358E-05	7,7442E-05	8,2272E-05	6,4494E-05	5,3456E-06	-6,5177E-05	-0,00013302	-0,00022664	-0,00033707	-0,00040953	-0,00041525	-0,00034483	-0,00018844
9,3528E-06	1,9151E-07	-7,027E-06	-1,1647E-05	-9,3023E-06	1,3304E-05	3,7031E-06	-1,511E-05	5,3588E-06	1,8195E-05	1,7011E-05	1,6419E-05	4,7332E-06	-2,533E-05	-4,0281E-05	4,8493E-05
-2,577E-05	-1,0492E-05	3,2341E-05	0,00011841	0,00020431	0,00026191	0,00031394	0,00037225	0,00042506	0,0004695	0,00051288	0,00055452	0,00058888	0,00062458	0,00067751	0,00076393
-0,00021531	-0,00027863	-0,00034568	-0,0004109	-0,00047574	-0,00054945	-0,00063817	-0,00072887	-0,00080415	-0,00086843	-0,00095103	-0,00106684	-0,00116778	-0,00118844	-0,00106461	-0,00073093
-0,00044295	-0,00045289	-0,00045903	-0,00046283	-0,00046493	-0,00046118	-0,00044639	-0,00041528	-0,0003643	-0,00029793	-0,00022253	-0,00014479	-7,1284E-05	-8,6864E-06	3,6633E-05	5,7993E-05
-1,8205E-05	-2,2394E-05	-3,0608E-05	-4,5882E-05	-6,6998E-05	-8,9877E-05	-0,00010995	-0,00012311	-0,00012618	-0,00011836	-9,842E-05	-6,5767E-05	-1,9108E-05	4,2097E-05	0,0001192	0,00021267
2,6211E-06	2,2975E-06	1,5703E-06	-2,0965E-06	-3,6975E-06	3,4984E-06	1,2664E-05	9,8727E-06	-6,4103E-06	-2,7114E-05	-5,0144E-05	-8,1805E-05	-0,00011217	-0,00010072	-3,9679E-06	0,00022211
4,241E-05	5,5129E-05	6,8255E-05	8,2645E-05	9,1921E-05	0,00011522	0,0001329	0,00013242	0,00013737	0,00015632	0,00017712	0,00019266	0,00021156	0,00022517	0,00023606	0,00025651
1,0759E-05	5,1531E-06	-7,1063E-06	-1,0821E-05	-5,5543E-06	2,8003E-06	7,881E-06	2,9417E-06	-6,7396E-06	-3,1828E-06	1,1608E-05	8,7082E-06	-2,0376E-05	-4,2437E-05	-1,9329E-05	8,6803E-05
-8,5158E-06	-4,5312E-06	2,5863E-06	6,1563E-06	1,8709E-06	-5,0347E-06	-6,9137E-06	9,1659E-07	1,1374E-05	1,4468E-05	3,3906E-06	-1,5815E-05	-3,3851E-05	-4,1463E-05	-2,9393E-05	1,1658E-05
5,3628E-05	7,1698E-05	8,0694E-05	8,0473E-05	7,2625E-05	5,5533E-05	2,816E-05	-4,2124E-06	-3,515E-05	-5,9808E-05	-8,0326E-05	-0,0001244	-0,00020416	-0,00023576	-0,00011155	0,00027713
-3,4192E-06	3,7471E-06	1,3126E-05	1,6409E-05	1,152E-05	1,8007E-09	-1,5748E-05	-3,299E-05	-5,341E-05	-8,3435E-05	-0,00012659	-0,00018165	-0,00022599	-0,00019369	-1,413E-05	0,00038344
3,8241E-06	2,2064E-05	3,7996E-05	4,2836E-05	3,7492E-05	2,6188E-05	6,1654E-06	-3,695E-05	-0,00011356	-0,00018716	-0,00019508	-0,00010308	5,1821E-05	0,0002214	0,00035744	0,00041174
-0,00018624	-0,00022054	-0,00025431	-0,00028868	-0,00032484	-0,00036388	-0,00040213	-0,00043488	-0,00045682	-0,00046421	-0,00045772	-0,00043773	-0,00040453	-0,00035943	-0,00030233	-0,00023464
1,1293E-06	6,962E-06	8,3692E-06	2,6282E-06	-6,9234E-06	-4,3558E-06	3,5917E-06	-3,6326E-06	1,2097E-05	1,5187E-05	-3,0676E-05	-5,3988E-05	4,3644E-05	0,00013445	4,4776E-06	-0,00025574
-1,0728E-05	-1,0226E-05	-7,4859E-06	-4,0348E-06	2,9008E-06	7,6979E-06	7,4673E-07	-7,843E-06	2,5746E-08	1,0334E-05	-8,565E-07	-1,6237E-05	-7,4527E-06	1,8468E-05	4,173E-05	4,2565E-05
1,9743E-06	-2,1637E-07	1,5644E-06	7,7269E-06	1,3291E-05	1,4374E-05	9,2691E-06	-4,3342E-06	-3,2051E-05	-7,5386E-05	-9,8127E-05	-4,8628E-05	6,7098E-05	0,00018795	0,00024989	0,00018956
4,1372E-06	3,7405E-06	-3,3573E-06	-2,3001E-06	4,1282E-06	2,0135E-06	-8,8441E-06	-7,0129E-06	1,9917E-05	1,5446E-05	-1,9184E-05	-3,6198E-05	-5,7305E-05	-9,1337E-05	-7,51E-05	0,00010452
-0,00019797	-0,00021708	-0,0002411	-0,00026954	-0,00029357	-0,00030201	-0,00028399	-0,0002294	-0,00014247	-3,7957E-05	6,9576E-05	0,00016558	0,00023505	0,00026344	0,00023622	0,00013834
1,9031E-05	1,4711E-05	1,0548E-05	6,5463E-06	2,7103E-06	-9,5482E-07	-4,4475E-06	-7,7621E-06	-1,0894E-05	-1,3841E-05	-1,6596E-05	-1,9157E-05	-2,1519E-05	-2,3679E-05	-2,5631E-05	-2,7372E-05
2,777E-05	8,0831E-06	-1,5901E-05	-4,084E-05	-6,4272E-05	-8,6213E-05	-0,0001082	-0,00013179	-0,00015758	-0,00017936	-0,00018793	-0,00017448	-0,00012899	-4,2638E-05	9,3785E-05	0,0002895
9,1247E-05	9,2901E-05	9,4381E-05	9,5737E-05	9,6916E-05	9,7968E-05	9,8838E-05	9,9579E-05	0,00010013	0,00010056	0,00010079	0,00010089	0,0001008	0,00010057	0,00010014	9,9571E-05
0,00018785	0,00019737	0,00020704	0,00021682	0,00022676	0,00023682	0,00024702	0,00025735	0,00026783	0,00027843	0,00028919	0,00030006	0,00031111	0,00032226	0,00033359	0,00034503
-1,367E-06	-4,4711E-06	-1,656E-06	5,8449E-06	6,5268E-06	1,5544E-06	-1,5104E-07	-4,8998E-06	-1,2935E-05	-6,601E-06	1,0727E-05	1,9924E-05	6,6347E-06	-2,2515E-05	-2,8337E-05	3,139E-05
-3,8378E-06	-8,4068E-06	-9,5931E-06	-2,5297E-06	1,3878E-05	2,9651E-05	3,3716E-05	2,2376E-05	-3,4966E-06	-4,0701E-05	-8,159E-05	-0,00011672	-0,00012736	-9,1309E-05	1,3787E-05	0,00021011
-0,00013598	-0,00011656	-9,0909E-05	-5,9063E-05	-2,1159E-05	2,2366E-05	7,0948E-05	0,0001241	0,00018126	0,00024144	0,00030374	0,00036727	0,00043098	0,00049397	0,00055538	0,00061411
-0,00061335	-0,00064401	-0,00067189	-0,0006977	-0,000724	-0,00075407	-0,00079204	-0,00084071	-0,00089644	-0,0009521	-0,00099945	-0,00103023	-0,00103727	-0,00101231	-0,00094703	-0,00083437
-0,00014711	-0,00015511	-0,00015899	-0,00015798	-0,00015122	-0,00013785	-0,00011699	-8,7891E-05	-5,0507E-05	-4,9826E-06	4,8526E-05	0,00010986	0,00017887	0,00025544	0,00033932	0,00043041
3,1584E-07	-8,205E-06	-6,394E-06	4,9338E-06	8,3887E-06	-1,9175E-06	-8,3146E-06	1,6061E-06	1,2385E-05	3,8409E-06	-1,8577E-05	-3,5945E-05	-3,5817E-05	-1,2738E-05	3,8746E-05	0,00012322
-1,7542E-05	-3,2302E-05	-5,0252E-05	-6,9447E-05	-8,7829E-05	-0,00010341	-0,00011404	-0,00011832	-0,00011518	-0,00010364	-8,2432E-05	-5,0581E-05	-7,0888E-06	4,9219E-05	0,00011944	0,00020461
-5,8499E-05	-9,2597E-05	-0,00013017	-0,00017004	-0,00021173	-0,00025242	-0,00028839	-0,00031595	-0,0003314	-0,00033105	-0,00031119	-0,00026873	-0,00019879	-9,8259E-05	3,6577E-05	0,00020941
4,967E-05	4,758E-05	4,4876E-05	4,1409E-05	3,703E-05	3,1657E-05	2,5317E-05	1,8047E-05	9,9697E-06	9,613E-07	-8,8612E-06	-1,946E-05	-3,0796E-05	-4,2832E-05	-5,5529E-05	-6,8849E-05
2,5807E-06	6,0459E-06	8,9328E-06	1,0732E-05	1,0945E-05	9,1726E-06	5,8099E-06	1,5092E-06	-3,0765E-06	-7,2745E-06	-1,047E-05	-1,1991E-05	-1,1186E-05	-7,3735E-06	4,62E-08	1,1752E-05
-0,00010115	-0,00014067	-0,00013901	-7,1595E-05	5,5953E-05	0,0002077	0,000345	0,00043084	0,00044289	0,00038694	0,00026919	9,8063E-05	-0,00012048	-0,00037776	-0,00066809	-0,00098249
7,6208E-05	1,3356E-06	-8,0039E-05	-0,00016961	-0,00027051	-0,0003844	-0,00051128	-0,00065161	-0,00080408	-0,00096722	-0,00114165	-0,00132517	-0,00151857	-0,00172033	-0,00192878	-0,00214498
1,6185E-05	4,2809E-05	5,0473E-05	2,8775E-06	-0,00010597	-0,00018296	-0,00011572	0,00015335	0,00049082	0,00072226	0,00071561	0,00048266	6,7349E-05	-0,00048315	-0,00112625	-0,00181405
2,7386E-06	2,7336E-06	2,9249E-06	2,2579E-06	2,8984E-07	-1,3582E-06	-9,3739E-07	5,6166E-07	5,8627E-07	-1,2584E-06	-1,1228E-06	4,0581E-06	1,068E-05	1,2244E-05	2,5041E-06	-2,509E-05

Tabla 6.2. Amplitudes de las 16 últimas muestras de la primera IMF.

En este apartado de clasificación, han sido tenidas en cuenta diversas alternativas:

La función ***pdist*** de Matlab: En la que se ha tenido en cuenta la distancia Euclídea entre observaciones.

La función ***linkage*** de Matlab: En la que se han considerado dos alternativas:

- Teniendo en cuenta un cluster jerárquico en árbol según la observación más próxima (***single***).
- Teniendo en cuenta un cluster jerárquico en árbol según el centroide más próximo (***centroid***).

La función ***cluster*** de Matlab: Construyendo un máximo de K clusters, utilizando las funciones **pdist** y **linkage** como parámetros; y devolviéndonos la clase a la que pertenece cada descarga.

La función ***dendrogram*** de Matlab: Construyendo un máximo de K clusters, en función de las funciones **pdist** y **linkage**; y devolviéndonos la clase a la que pertenece cada descarga. Esta función, además, realiza una gráfica en forma de árbol jerárquico. Los dendrogramas representan la distancia entre pares de clases (clusters).

La función ***kmeans*** de Matlab (es por la que finalmente se ha optado en las tareas de clasificación***)***, devuelve una serie de datos. Éstos datos representan:

- Los K centroides para cada una de las 1.024 componentes de amplitud.
- La suma total de distancias desde todas las descargas que pertenecen a una clase hasta el propio centroide que identifica dicha clase.
- Número total de descargas para cada clase.
- La matriz de pertenencia de las 90 descargas a su clase correspondiente. A cada una de las descargas analizadas, se le asocia su clase correspondiente. Es decir, una descarga pertenecerá a la clase cuyo centroide sea más próximo.

Se muestra, a continuación, el comportamiento de cada una de dichas funciones; teniendo en cuenta la variación del número de clases desde K = 2 hasta K = 15.

El resultado del análisis no supervisado para 2 clases, se muestra en Tabla 6.3.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 2										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0,174360415	1	88	1	1	1	1	1	89	1	89
0,00249547	2	2	2	89	2	89	2	1	2	1
Suma Total										
0,176855885										

Tabla 6.3. Resultados comparativos teniendo en cuenta 2 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Sin embargo, la función *kmeans* varía ligeramente; incluyendo 2 descargas en una de las clases (en lugar de 1 descarga, que aparece según las funciones *cluster* y *dendrogram*).

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 2 viene representado en Figura 6.1.

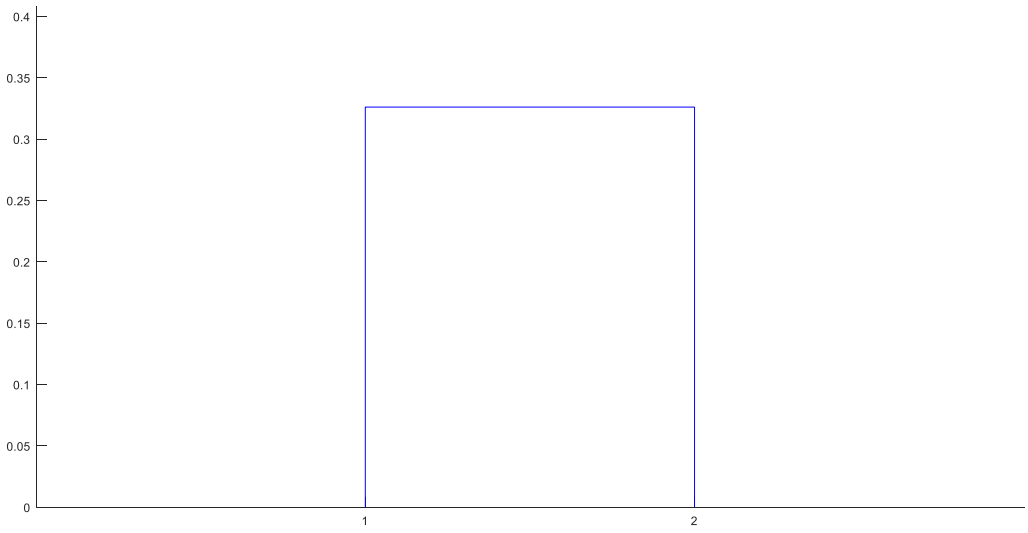


Figura 6.1. Dendrograma para 2 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 2 viene representado por Figura 6.2.

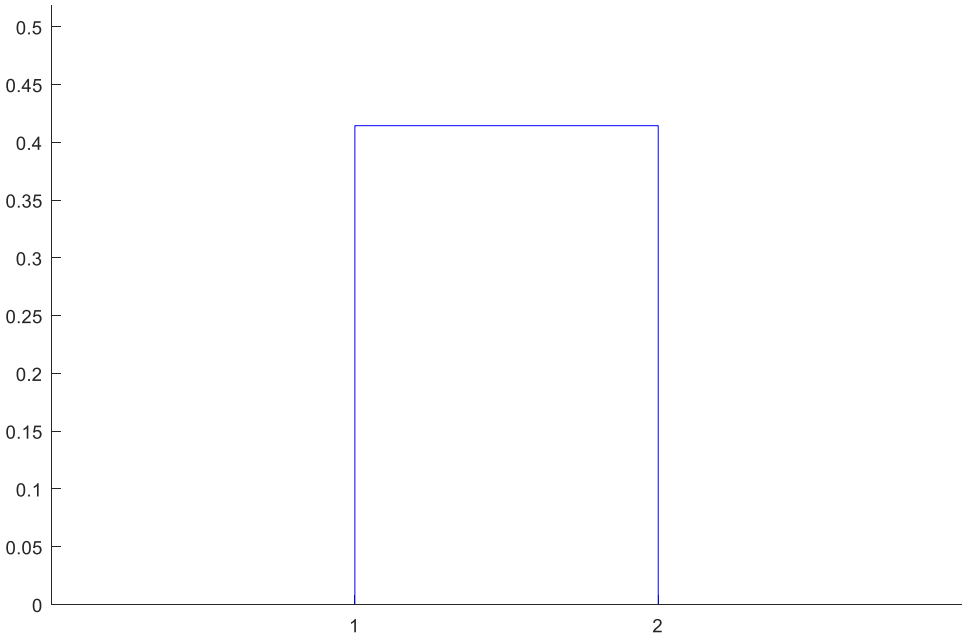


Figura 6.2. Dendrograma para 2 clases según el centroide más próximo.

Como se puede apreciar, la distancia entre el par de clases es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima.

El resultado del análisis no supervisado para 3 clases, se muestra en Tabla 6.4.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 3										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0,00249547	1	2	1	2	1	2	1	87	1	87
2,68781E-33	2	1	2	87	2	87	2	2	2	2
0,009846193	3	87	3	1	3	1	3	1	3	1
Suma Total										
0,012341663										

Tabla 6.4. Resultados comparativos teniendo en cuenta 3 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. En este caso, la función *kmeans*, también se halla en sintonía con las dos anteriores.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 3 viene representado por Figural 6.3.

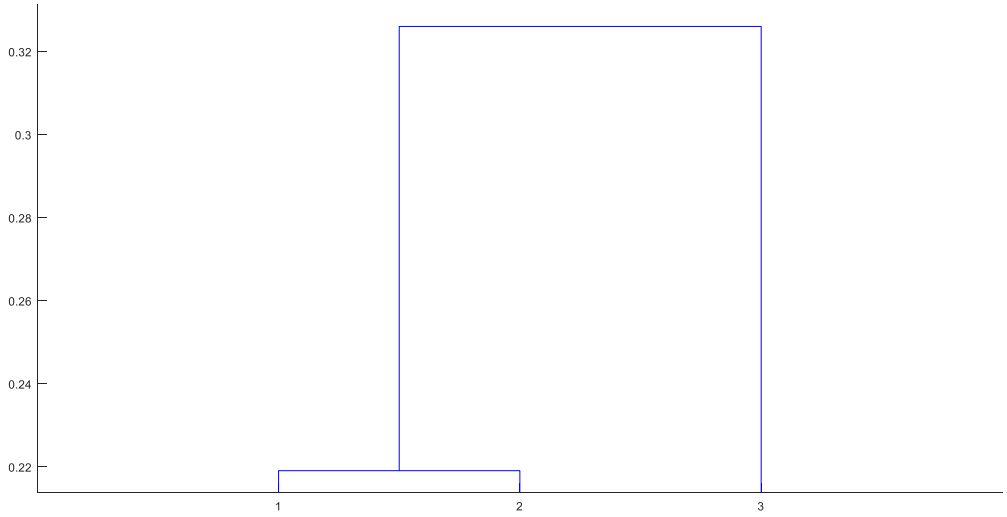


Figura 6.3. Dendrograma para 3 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 3 viene representado por Figura 6.4.

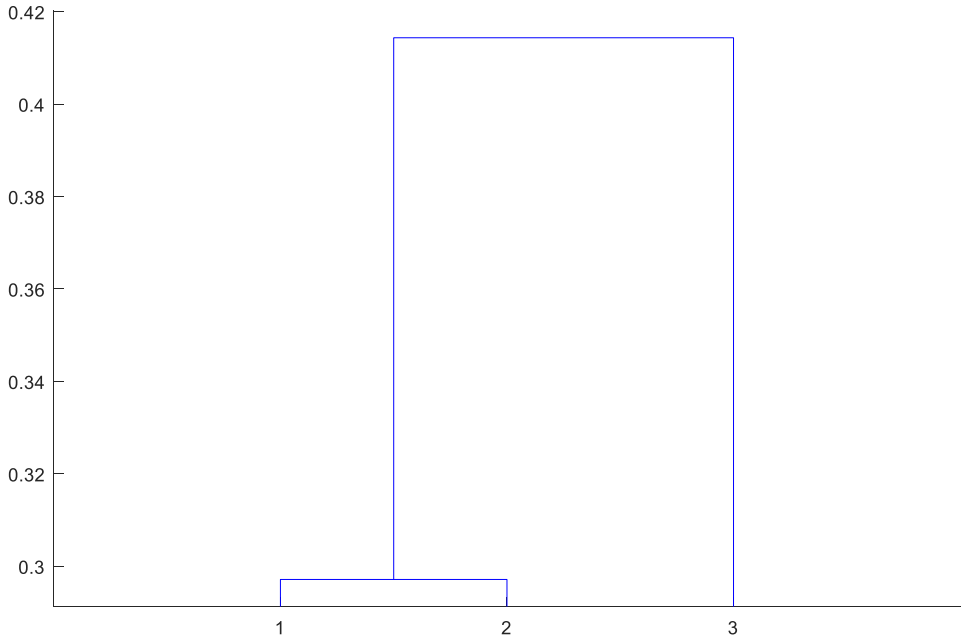


Figura 6.4. Dendrograma para 3 clases según el centroide más próximo.

Igual que en el caso de K = 2, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima.

El resultado del análisis no supervisado para 4 clases, se muestra en Tabla 6.5.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 4										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0	1	1	1	1	1	1	1	86	1	86
0	2	1	2	86	2	86	2	2	2	2
0,002871693	3	86	3	2	3	2	3	1	3	1
0,00249547	4	2	4	1	4	1	4	1	4	1
Suma Total										
0,005367163										

Tabla 6.5. Resultados comparativos teniendo en cuenta 4 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Y la función *kmeans*, también se halla en sintonía con las dos anteriores.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 4 viene representado por Figura 6.5.

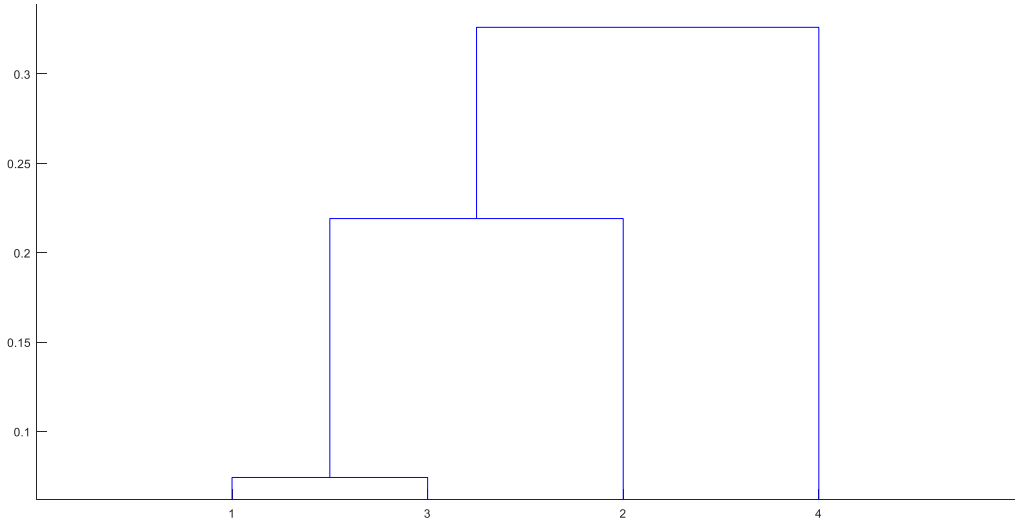


Figura 6.5. Dendrograma para 4 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 4 viene representado por Figura 6.6.

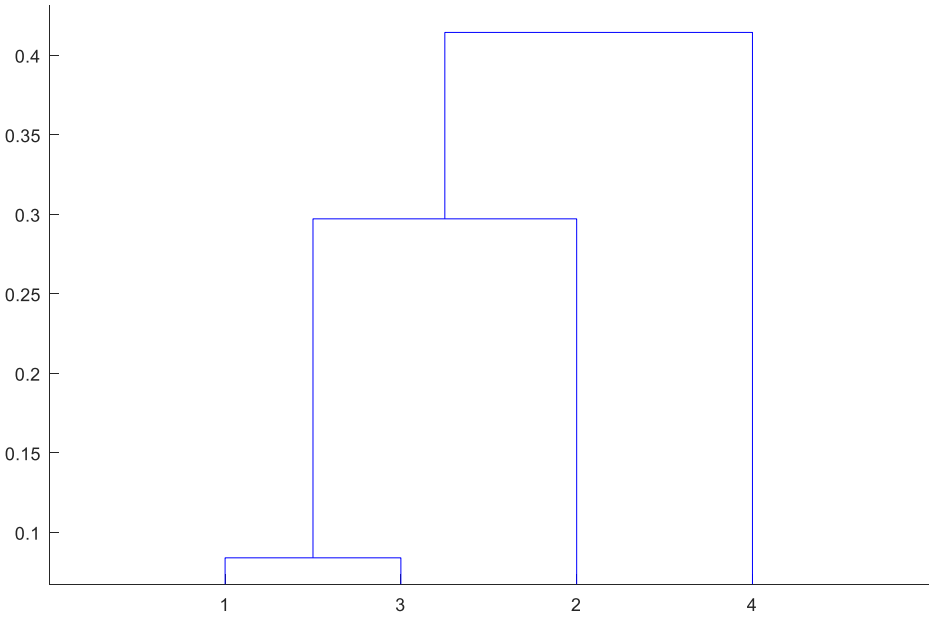


Figura 6.6. Dendrograma para 4 clases según el centroide más próximo.

La distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima.

El resultado del análisis no supervisado para 5 clases, se muestra en Tabla 6.6.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 5										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0,00249547	1	2	1	1	1	1	1	86	1	86
0	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
0,000505093	3	85	3	1	3	1	3	1	3	1
0	4	1	4	86	4	86	4	1	4	1
1,60912E-34	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
Suma Total										
0,003000562										

Tabla 6.6. Resultados comparativos teniendo en cuenta 5 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Sin embargo, la función *kmeans* en una de sus clases, incluye 2 descargas en lugar de 1. Y en la clase mayoritaria pasa de tener 86, a tener 85 descargas.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 5 viene representado por Figura 6.7.

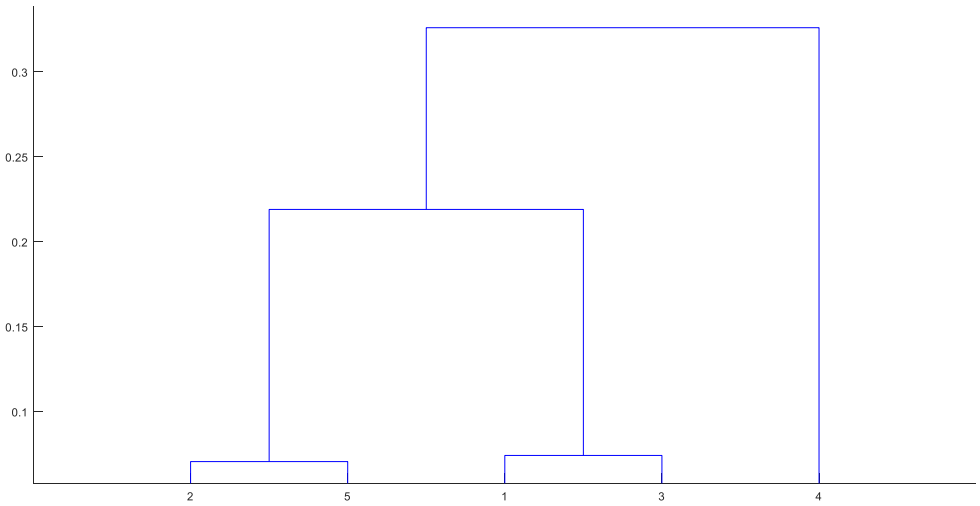


Figura 6.7. Dendrograma para 5 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 5 viene representado por Figura 6.8.

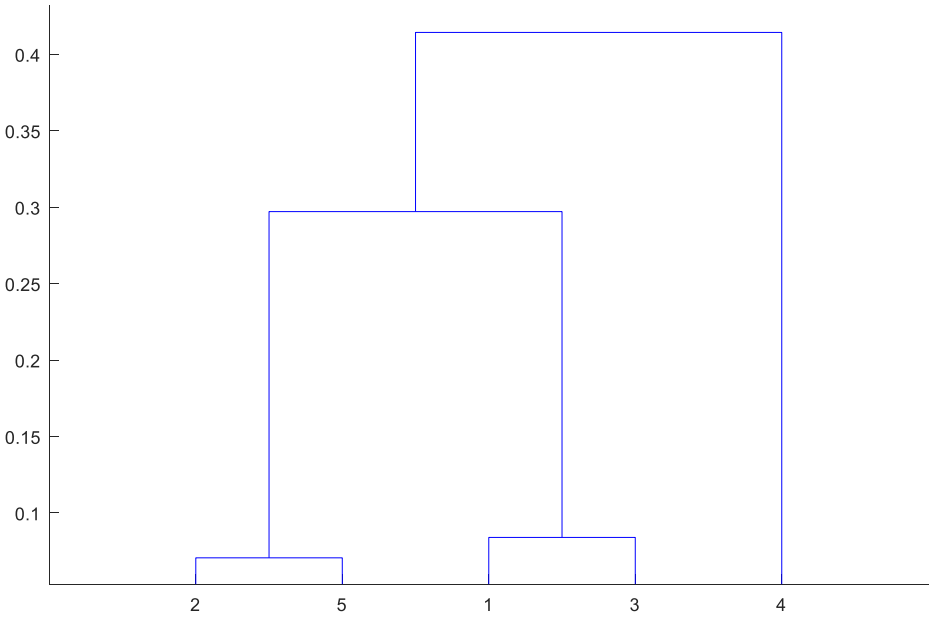


Figura 6.8. Dendrograma para 5 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima.

El resultado del análisis no supervisado para 6 clases, se muestra en Tabla 6.7.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 6										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0	1	1	1	1	1	1	1	85	1	85
0	2	1	2	85	2	85	2	1	2	1
0,00249547	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1
3,07904E-05	4	7	4	1	4	1	4	1	4	1
0,000347756	5	78	5	1	5	1	5	1	5	1
0	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1
Suma Total										
0,002874015										

Tabla 6.7. Resultados comparativos teniendo en cuenta 6 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Sin embargo, la función *kmeans* en una de sus clases, incluye 2 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases incluye 7 descargas en lugar de 1. Y en la clase mayoritaria pasa de tener 85, a tener 78 descargas.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 6 viene representado por Figura 6.9.

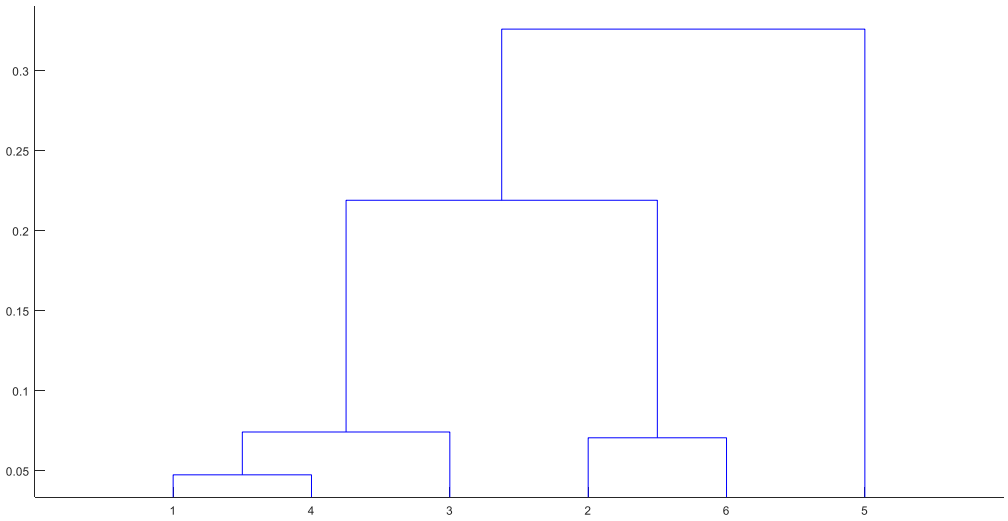


Figura 6.9. Dendrograma para 6 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 6 viene representado por Figura 6.10.

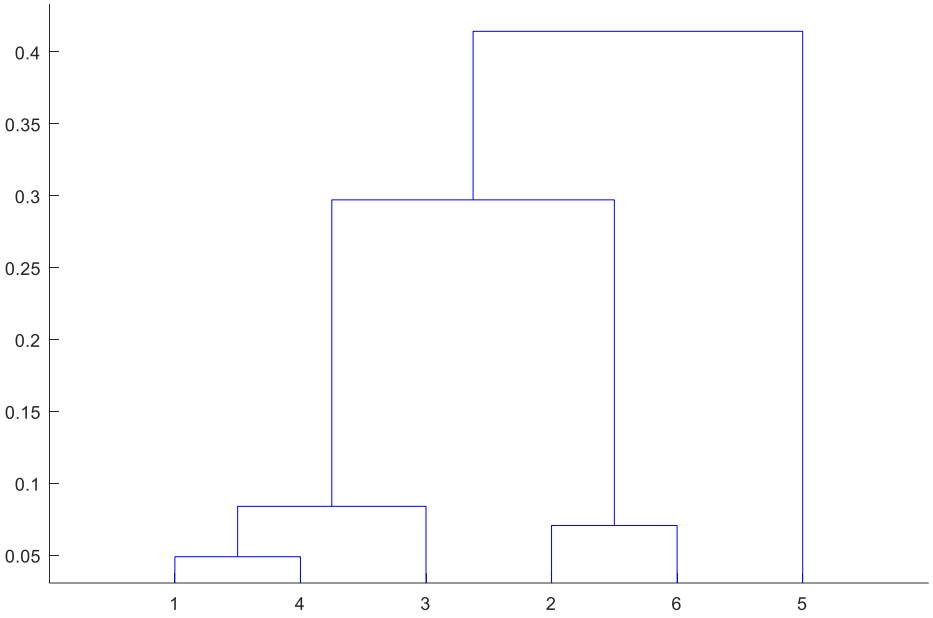


Figura 6.10. Dendrograma para 6 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Sin embargo, la diferencia entre las ramas de abajo, se aproxima bastante.

El resultado del análisis no supervisado para 7 clases, se muestra en Tabla 6.8.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 7										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0,000142196	1	74	1	1	1	1	1	84	1	84
0	2	1	2	84	2	84	2	1	2	1
0	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
3,07904E-05	4	7	4	1	4	1	4	1	4	1
6,56715E-05	5	4	5	1	5	1	5	1	5	1
0	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1
0,00249547	7	2	7	1	7	1	7	1	7	1
Suma Total										
0,002734127										

Tabla 6.8. Resultados comparativos teniendo en cuenta 7 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Sin embargo, la función *kmeans* en una de sus clases, incluye 2 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases, incluye 4 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases incluye 7 descargas en lugar de 1. Y en la clase mayoritaria pasa de tener 84, a tener 74 descargas.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 7 viene representado por Figura 6.11.

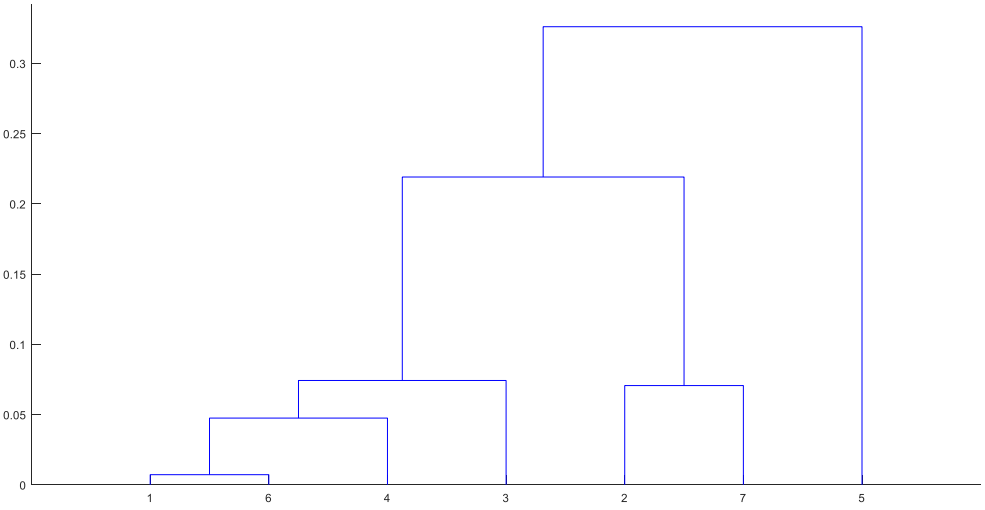


Figura 6.11. Dendrograma para 7 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 7 viene representado por Figura 6.12.

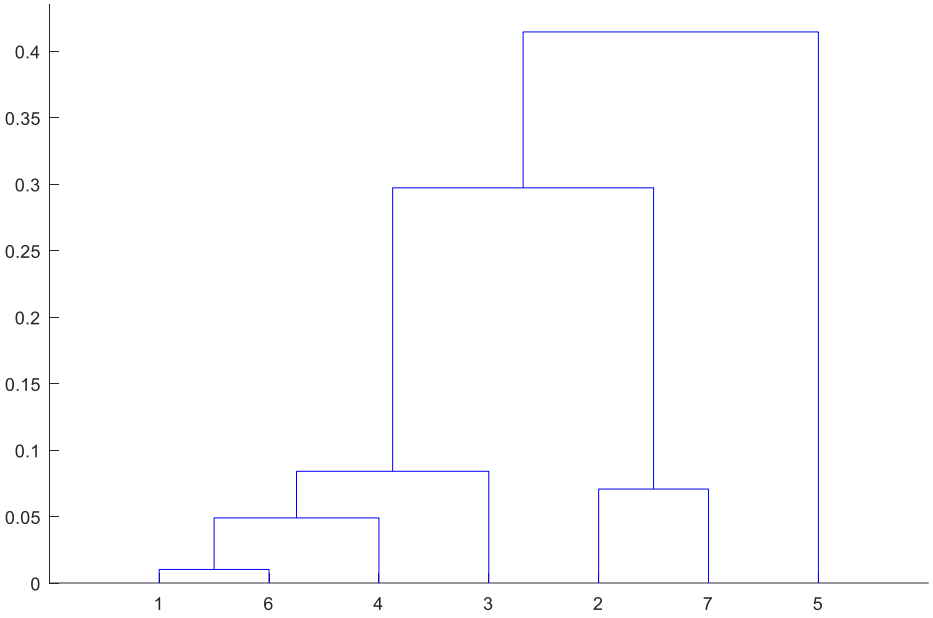


Figura 6.12. Dendrograma para 7 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se van aproximando.

El resultado del análisis no supervisado para 8 clases, se muestra en Tabla 6.9.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 8										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
1,70488E-35	1	1	1	1	1	1	1	83	1	83
0	2	1	2	83	2	83	2	1	2	1
4,84412E-05	3	6	3	1	3	1	3	1	3	1
3,07904E-05	4	7	4	1	4	1	4	1	4	1
0,000106453	5	71	5	1	5	1	5	1	5	1
0	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1
0	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1
0,00249547	8	2	8	1	8	1	8	1	8	1
Suma Total										
0,002681154										

Tabla 6.9. Resultados comparativos teniendo en cuenta 8 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Sin embargo, la función *kmeans* en una de sus clases, incluye 2 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases, incluye 6 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases incluye 7 descargas en lugar de 1. Y en la clase mayoritaria pasa de tener 83, a tener 71 descargas.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 8 viene representado por Figura 6.13.

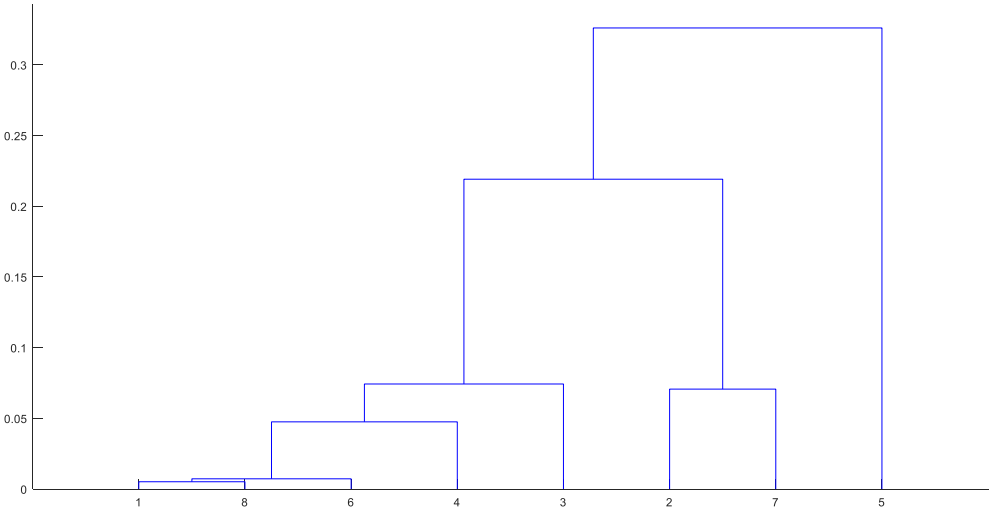


Figura 6.13. Dendrograma para 8 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 8 viene representado por Figura 6.14.

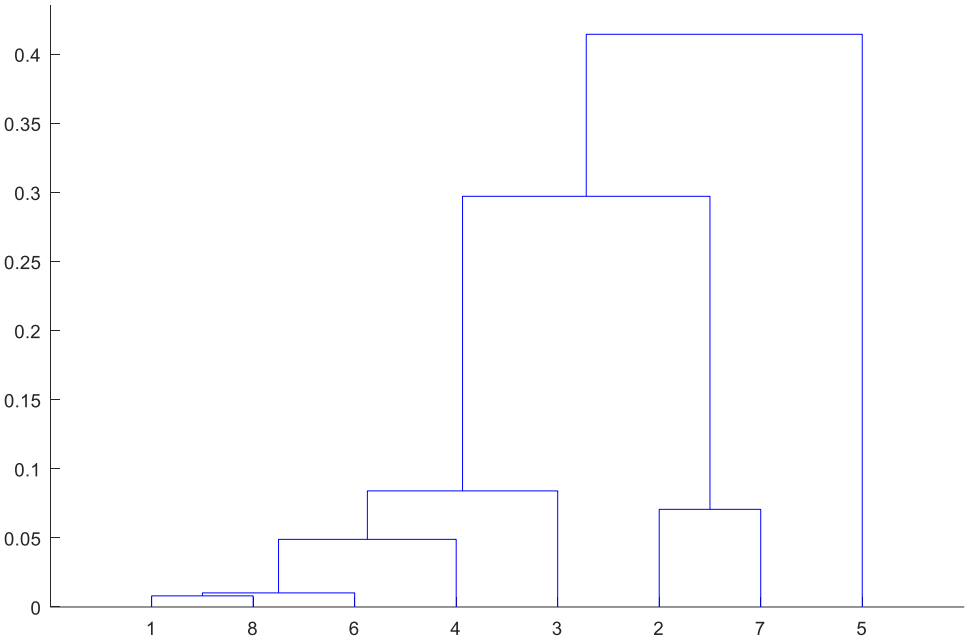


Figura 6.14. Dendrograma para 8 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se van aproximando.

El resultado del análisis no supervisado para 9 clases, se muestra en Tabla 6.10.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 9										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
6,55251E-36	1	1	1	1	1	1	1	82	1	82
0,000106453	2	71	2	82	2	82	2	1	2	1
3,07904E-05	3	7	3	1	3	1	3	1	3	1
0	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1
0	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
0,00249547	6	2	6	1	6	1	6	1	6	1
1,306E-36	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1
2,14622E-05	8	5	8	1	8	1	8	1	8	1
0	9	1	9	1	9	1	9	1	9	1
Suma Total										
0,002654175										

Tabla 6.10. Resultados comparativos teniendo en cuenta 9 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Sin embargo, la función *kmeans* en una de sus clases, incluye 2 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases, incluye 5 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases incluye 7 descargas en lugar de 1. Y en la clase mayoritaria pasa de tener 82, a tener 71 descargas.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 9 viene representado por Figura 6.15.

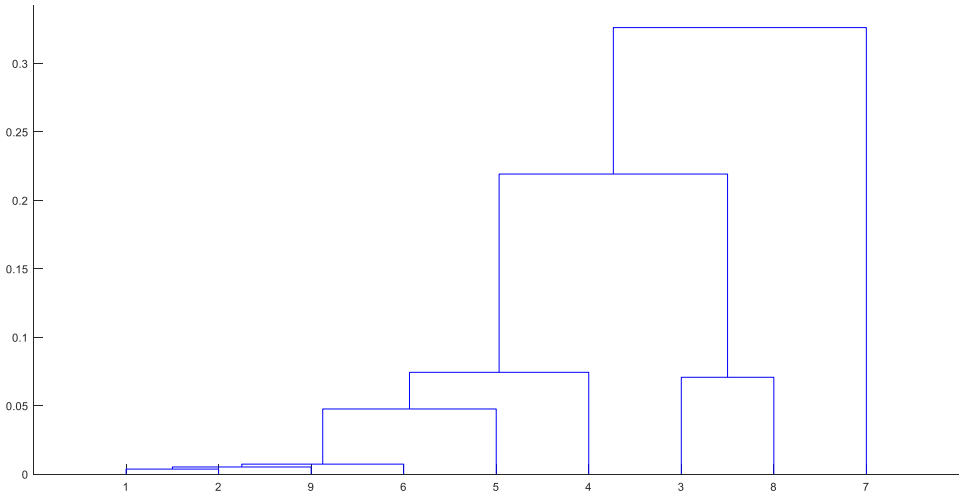


Figura 6.15. Dendrograma para 9 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 9 viene representado por Figura 6.16.

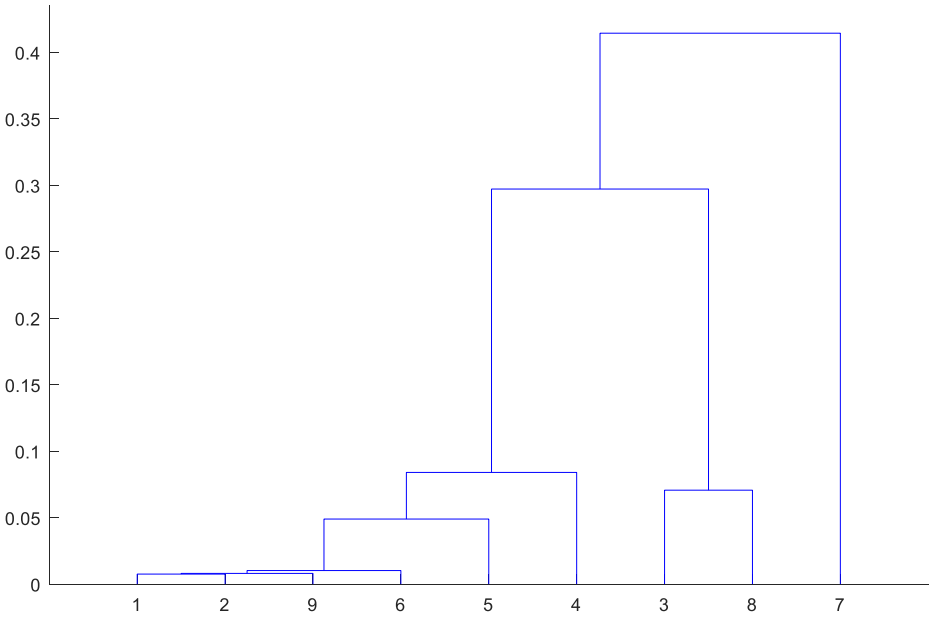


Figura 6.16. Dendrograma para 9 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se van aproximando.

El resultado del análisis no supervisado para 10 clases, se muestra en Tabla 6.11.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 10										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0	1	1	1	1	1	1	1	81	1	81
0,00249547	2	2	2	81	2	81	2	1	2	1
4,9006E-06	3	4	3	1	3	1	3	1	3	1
8,84348E-05	4	68	4	1	4	1	4	1	4	1
0	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
1,04266E-05	6	3	6	1	6	1	6	1	6	1
1,41365E-35	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1
4,84412E-05	8	6	8	1	8	1	8	1	8	1
9,12941E-06	9	3	9	1	9	1	9	1	9	1
0	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1
Suma Total										
0,002656802										

Tabla 6.11. Resultados comparativos teniendo en cuenta 10 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya se trate del vecino más próximo o del centroide más próximo. Sin embargo, la función *kmeans* en una de sus clases, incluye 2 descargas en lugar de 1. En dos de sus clases, incluye 3 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases incluye 4 descargas en lugar de 1. En otra de sus clases incluye 6 descargas en lugar de 1. Y en la clase mayoritaria pasa de tener 81, a tener 68 descargas.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 10 viene representado por Figura 6.17.

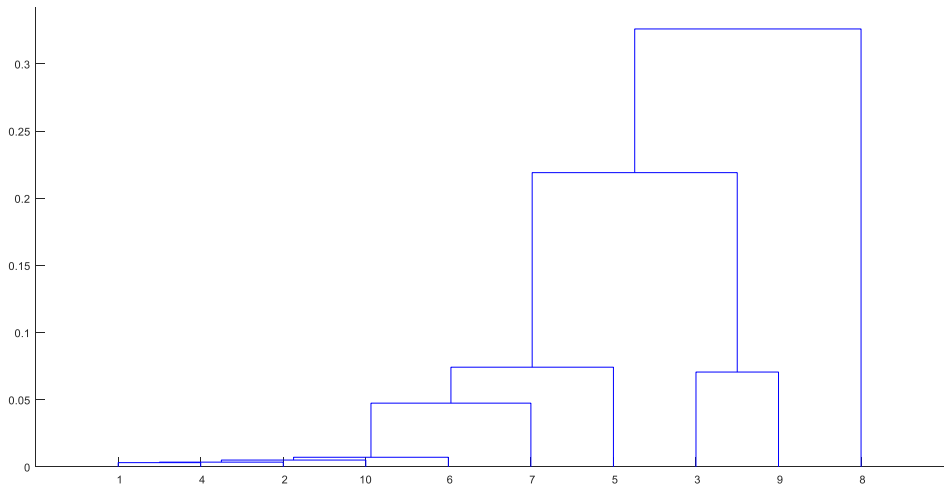


Figura 6.17. Dendrograma para 10 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 10 viene representado por Figura 6.18.

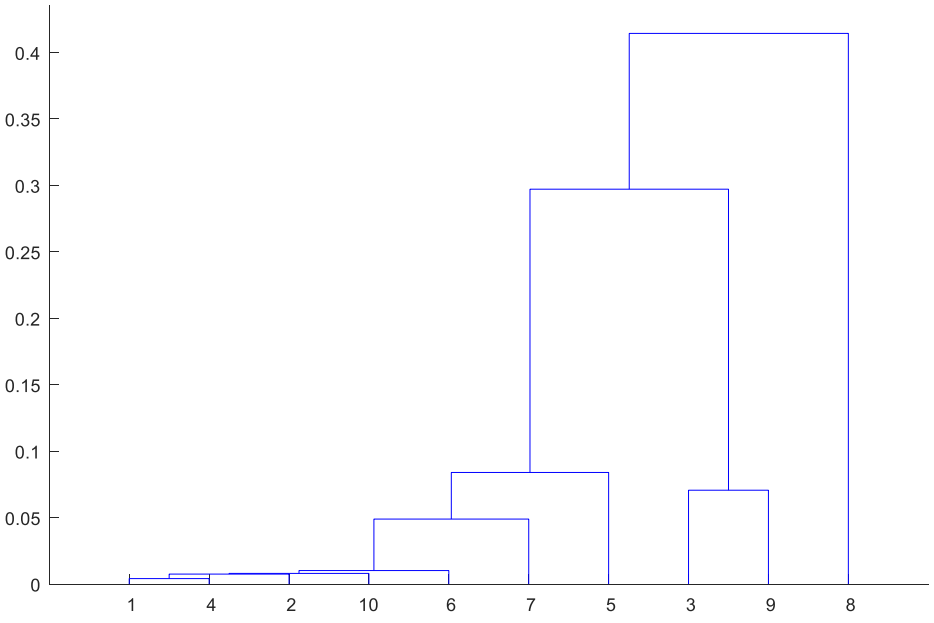


Figura 6.18. Dendrograma para 10 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se aproximan mucho.

El resultado del análisis no supervisado para 11 clases, se muestra en Tabla 6.12.

kmeans			cluster			dendrogram		
			distancia más cercana		distancia de centro masa	distancia más cercana		distancia de centro masa
K = 11								
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
9,12941E-06	1	3	1	1	1	6	1	80	1	75
0	2	1	2	80	2	75	2	1	2	1
0,00249547	3	2	3	1	3	1	3	1	3	1
1,33307E-05	4	5	4	1	4	1	4	1	4	1
7,20919E-37	5	1	5	1	5	1	5	1	5	6
6,81572E-05	6	63	6	1	6	1	6	1	6	1
4,84412E-05	7	6	7	1	7	1	7	1	7	1
1,04266E-05	8	3	8	1	8	1	8	1	8	1
4,9006E-06	9	4	9	1	9	1	9	1	9	1
0	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1
0	11	1	11	1	11	1	11	1	11	1
Suma Total										
0,002649855										

Tabla 6.12. Resultados comparativos teniendo en cuenta 11 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* ya no tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya que según el vecino más próximo se obtiene una clasificación diferente que según centroide más próximo. Ahora bien, teniendo en cuenta el vecino más próximo o bien el centroide más próximo, *cluster* y dendrogram se comportan de la misma manera en cuanto a clasificación. La función *kmeans* en cada una de sus clases, tiende a incluir mayor número de descargas que *cluster* o *dendrogram*; salvo en la clase mayoritaria.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 11 viene representado por Figura 6.19.

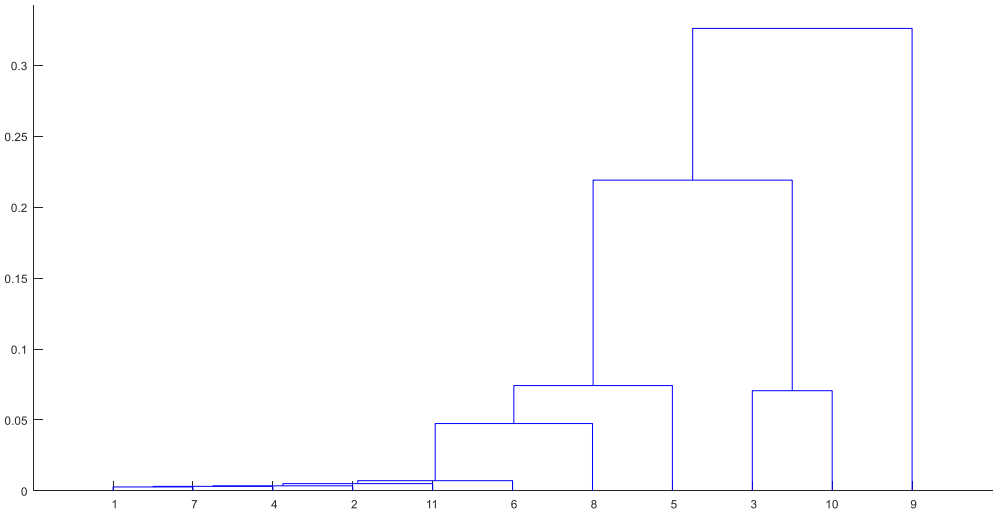


Figura 6.19. Dendrograma para 11 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 11 viene representado por Figura 6.20.

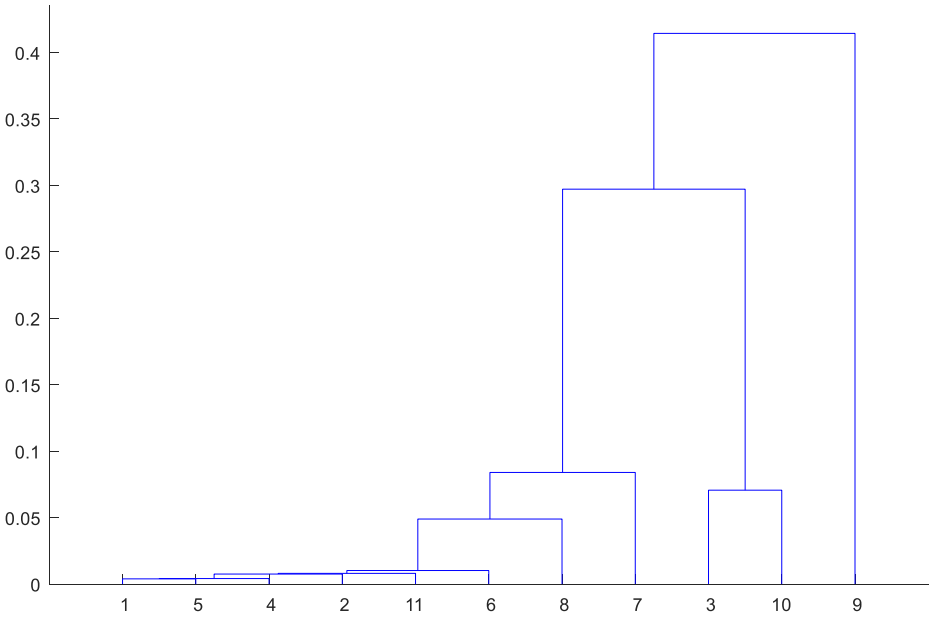


Figura 6.20. Dendrograma para 11 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se aproximan mucho.

En el caso de la función *dendrogram*, la clase 1 tiene 80 descargas según el vecino más próximo; pero tiene 75 descargas según el centroide más próximo. Y la clase 5 tiene 1 descarga según el vecino más próximo y 6 descargas según el centroide más próximo. Se observa, además, que entre el dendograma según el vecino más próximo y según el centroide más próximo, se produce una permutación en el eje de abscisas entre las clases 5 y 7.

El resultado del análisis no supervisado para 12 clases, se muestra en Tabla 6.13.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 12										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
1,10084E-05	1	5	1	1	1	71	1	79	1	71
3,07904E-05	2	7	2	79	2	4	2	1	2	1
2,16223E-05	3	9	3	1	3	6	3	1	3	1
6,46035E-36	4	1	4	1	4	1	4	1	4	4
2,14622E-05	5	5	5	1	5	1	5	1	5	1
4,23549E-05	6	53	6	1	6	1	6	1	6	1
0,00249547	7	2	7	1	7	1	7	1	7	6
1,04863E-05	8	4	8	1	8	1	8	1	8	1
0	9	1	9	1	9	1	9	1	9	1
6,90516E-36	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1
0	11	1	11	1	11	1	11	1	11	1
0	12	1	12	1	12	1	12	1	12	1
Suma Total										
0,002633194										

Tabla 6.13. Resultados comparativos teniendo en cuenta 12 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* ya no tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación; ya que según el vecino más próximo se obtiene una clasificación diferente que según centroide más próximo. Ahora bien, teniendo en cuenta el vecino más próximo o bien el centroide más próximo, *cluster* y *dendrogram* se comportan de la misma manera en cuanto a clasificación. La función *kmeans* en cada una de sus clases, tiende a incluir mayor número de descargas que cluster o dendrogram; salvo en la clase mayoritaria.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 12 viene representado por Figura 6.21.

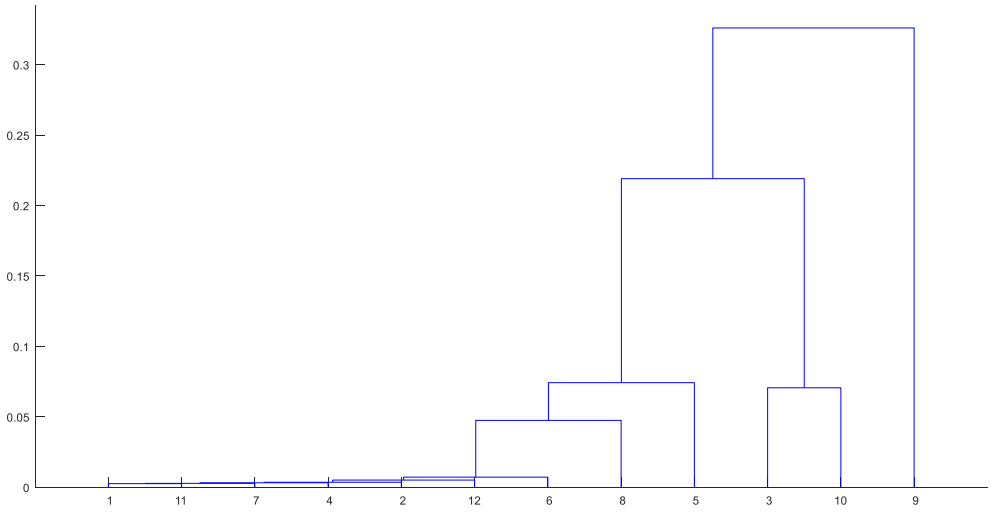


Figura 6.21. Dendrograma para 12 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 12 viene representado por Figura 6.22.

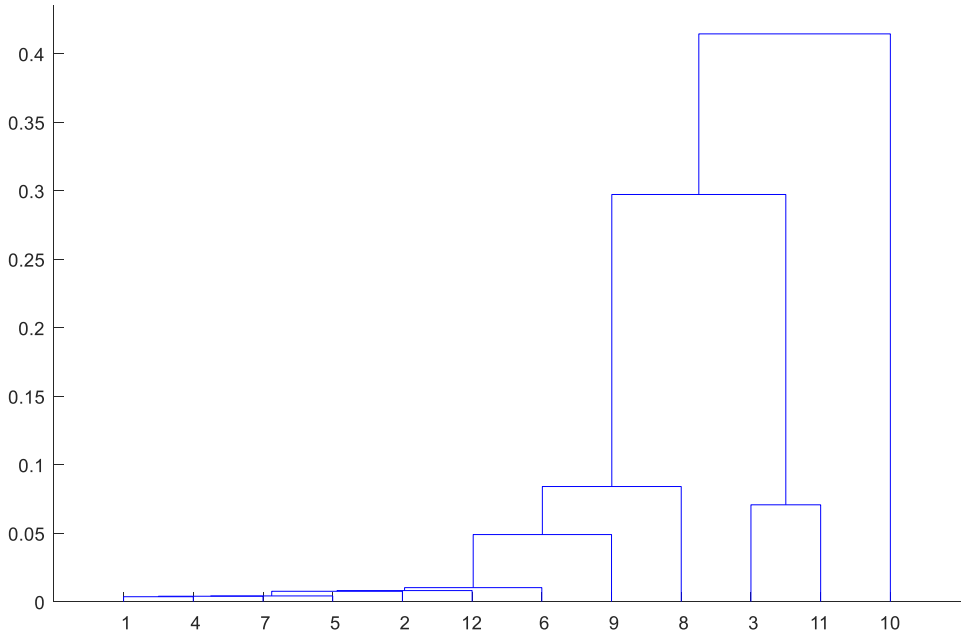


Figura 6.22. Dendrograma para 12 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se aproximan mucho.

En el caso de la función *dendrogram*, la clase 1 tiene 79 descargas según el vecino más próximo; pero tiene 71 descargas según el centroide más próximo. La clase 4 tiene 1 descarga según el vecino más próximo, frente a las 4 que tiene según el centroide más próximo. Y la clase 7 tiene 1 descarga según el vecino más próximo y 6 descargas según el centroide más próximo. Se observa, además, que entre el dendograma según el vecino más próximo y según el centroide más próximo, se producen varias permutaciones entre sus clases.

El resultado del análisis no supervisado para 13 clases, se muestra en Tabla 6.14.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 13										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
0,00249547	1	2	1	2	1	1	1	77	1	71
1,01429E-35	2	1	2	77	2	3	2	1	2	1
0	3	1	3	1	3	71	3	1	3	1
0	4	1	4	1	4	6	4	1	4	3
2,14622E-05	5	5	5	1	5	1	5	2	5	1
2,30756E-05	6	9	6	1	6	1	6	1	6	1
0	7	1	7	1	7	1	7	1	7	6
4,74275E-05	8	54	8	1	8	1	8	1	8	1
4,74563E-06	9	4	9	1	9	1	9	1	9	1
2,02091E-06	10	2	10	1	10	1	10	1	10	1
3,07904E-05	11	7	11	1	11	1	11	1	11	1
1,08432E-06	12	2	12	1	12	1	12	1	12	1
6,16976E-37	13	1	13	1	13	1	13	1	13	1
Suma Total										
0,002626076										

Tabla 6.14. Resultados comparativos teniendo en cuenta 13 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación teniendo en cuenta el vecino más próximo o bien el centroide más próximo. Pero para ambas funciones, el comportamiento es diferente cuando se trata el vecino más próximo que cuando se trata el centroide más próximo. Para *cluster* y *dendrogram* aparecen más descargas en las clases al considerar el centroide más próximo. La función *kmeans* en cada una de sus clases, tiende a incluir mayor número de descargas que *cluster* o *dendrogram*; salvo en la clase mayoritaria.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 13

viene representado por Figura 6.23.

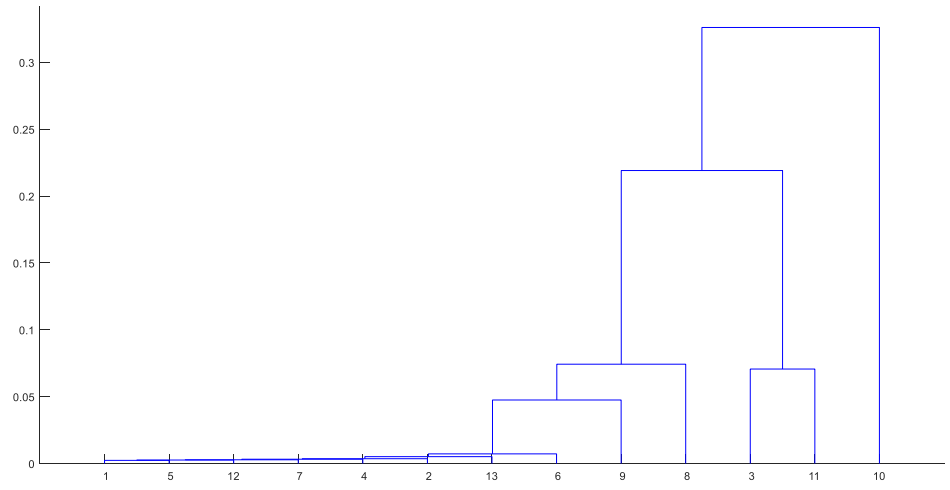


Figura 6.23. Dendrograma para 13 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 13 viene representado por Figura 6.24.

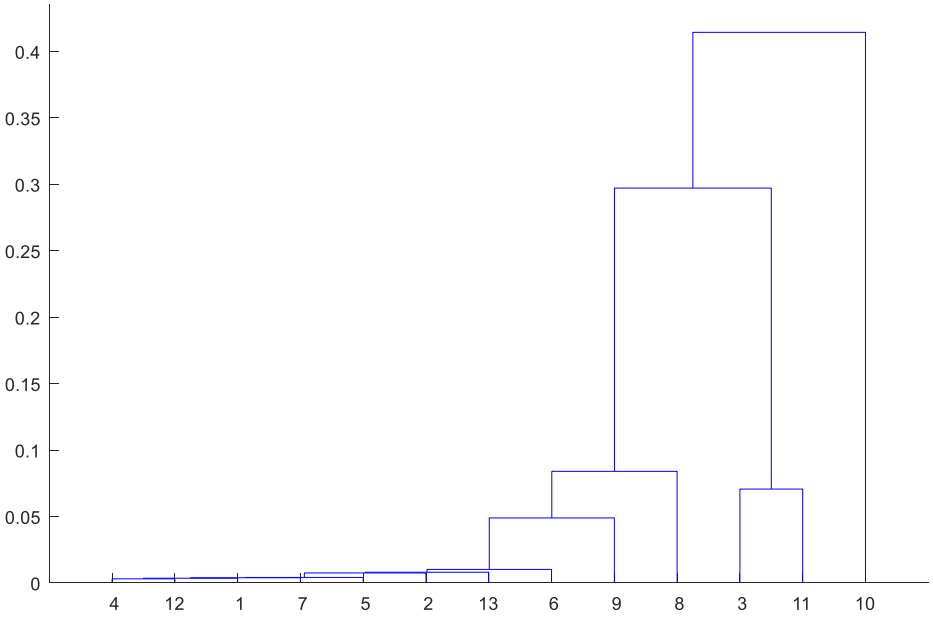


Figura 6.24. Dendrograma para 13 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se aproximan mucho.

En el caso de la función *dendrogram*, la clase 1 tiene 77 descargas según el vecino más próximo; pero tiene 71 descargas según el centroide más próximo. La clase 4 tiene 1 descarga según el vecino más próximo, frente a los 3 que tiene según el centroide más próximo. Y la clase 7 tiene 1 descarga según el vecino más próximo y 6 descargas según el centroide más próximo. Se observa, además, que entre el dendograma según el vecino más próximo y según el centroide más próximo, se producen varias permutaciones entre sus clases.

El resultado del análisis no supervisado para 14 clases, se muestra en Tabla 6.15.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 14										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
1,01429E-35	1	1	1	1	1	1	1	76	1	70
1,04266E-05	2	3	2	76	2	70	2	1	2	1
7,20919E-37	3	1	3	2	3	1	3	1	3	1
2,14622E-05	4	5	4	1	4	3	4	1	4	3
9,12941E-06	5	3	5	1	5	6	5	2	5	1
0	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1
0	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1
5,5074E-05	8	58	8	1	8	1	8	1	8	6
4,74563E-06	9	4	9	1	9	1	9	1	9	1
2,02091E-06	10	2	10	1	10	1	10	1	10	1
0,00249547	11	2	11	1	11	1	11	1	11	1
7,34743E-06	12	4	12	1	12	1	12	1	12	1
4,9006E-06	13	4	13	1	13	1	13	1	13	1
0	14	1	14	1	14	1	14	1	14	1
Suma Total										
0,002610576										

Tabla 6.15. Resultados comparativos teniendo en cuenta 14 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación teniendo en cuenta el vecino más próximo o bien el centroide más próximo. Pero para ambas funciones, el comportamiento es diferente cuando se trata el vecino más próximo de cuando se trata el centroide más próximo. Para *cluster* y *dendrogram* aparecen más descargas en las clases al considerar el centroide más próximo, pero existe una clase que tiene 2 descargas según el vecino más próximo, y sólo 1 descarga según el centroide más próximo. La función kmeans en cada una de sus clases, tiende a incluir mayor número de descargas que *cluster* o *dendrogram*; salvo en

la clase mayoritaria.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 14 viene representado por Figura 6.25.

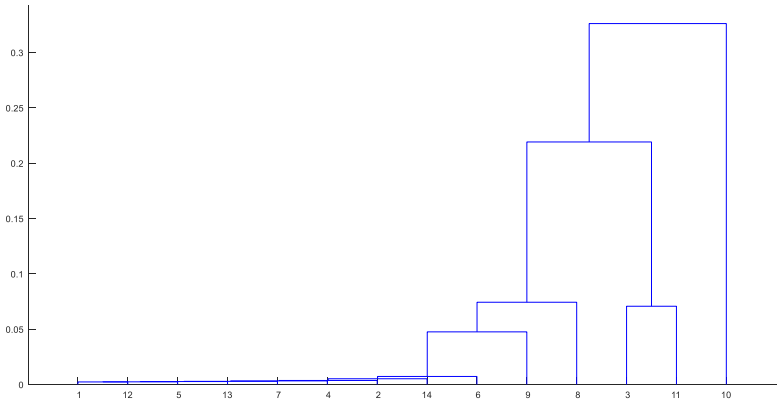


Figura 6.25. Dendrograma para 14 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 14 viene representado por Figura 6.26.

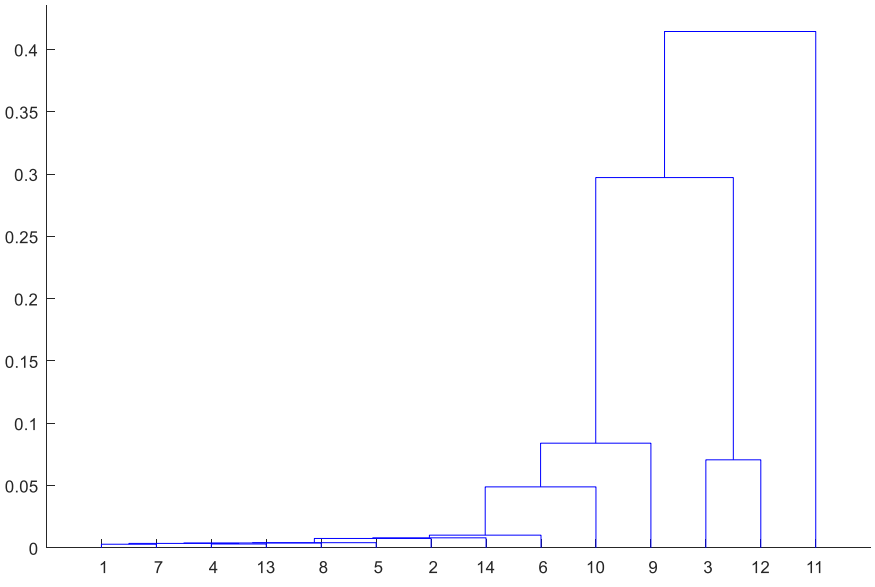


Figura 6.26. Dendrograma para 14 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se aproximan mucho.

En el caso de la función *dendrogram*, la clase 1 tiene 76 descargas según el vecino más próximo; pero tiene 70 descargas según el centroide más próximo. La clase 4 tiene 1 descarga según el vecino más próximo, frente a los 3 que tiene según el centroide más próximo. La clase 5 tiene 2 descargas según el vecino más próximo, frente a 1 que tiene según el centroide más próximo. Y la clase 8 tiene 1 descarga según el vecino más próximo y 6 descargas según el centroide más próximo.

Hay que tener en cuenta que los emparejamientos entre clases varían según se trate del vecino o del centroide más próximo.

El resultado del análisis no supervisado para 15 clases, se muestra en Tabla 6.16.

kmeans			cluster				dendrogram			
			distancia más cercana		distancia de centro masa		distancia más cercana		distancia de centro masa	
K = 15										
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase		Nº Descargas por Clase	
6,90516E-36	1	1	1	3	1	1	1	73	1	69
1,08432E-06	2	2	2	73	2	69	2	1	2	1
0	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
6,46035E-36	4	1	4	2	4	1	4	3	4	3
4,9006E-06	5	4	5	1	5	3	5	1	5	1
0	6	1	6	1	6	6	6	1	6	1
0	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1
1,04266E-05	8	3	8	1	8	1	8	2	8	1
1,1777E-05	9	6	9	1	9	1	9	1	9	6
2,02091E-06	10	2	10	1	10	1	10	1	10	1
5,05277E-05	11	56	11	1	11	1	11	1	11	1
5,71281E-38	12	1	12	1	12	1	12	1	12	1
4,74563E-06	13	4	13	1	13	1	13	1	13	1
2,14622E-05	14	5	14	1	14	1	14	1	14	1
0,00249547	15	2	15	1	15	1	15	1	15	1
Suma Total										
0,002602414										

Tabla 6.16. Resultados comparativos teniendo en cuenta 15 clases.

Las funciones *cluster* y *dendrogram* tienen el mismo comportamiento, en cuanto a clasificación teniendo en cuenta el vecino más próximo o bien el centroide más próximo. Pero para ambas funciones, el comportamiento es diferente cuando se trata el vecino más próximo que cuando se trata el centroide más próximo. Para *cluster* y *dendrogram* suelen aparecer más descargas en las clases al considerar el centroide más próximo. La función *kmeans* en cada una de sus clases, tiende a incluir mayor número

de descargas que *cluster* o *dendrogram*; salvo en la clase mayoritaria.

Según **linkage = single** (vecino más próximo), el dendrograma para K = 15 viene representado por Figura 6.27.

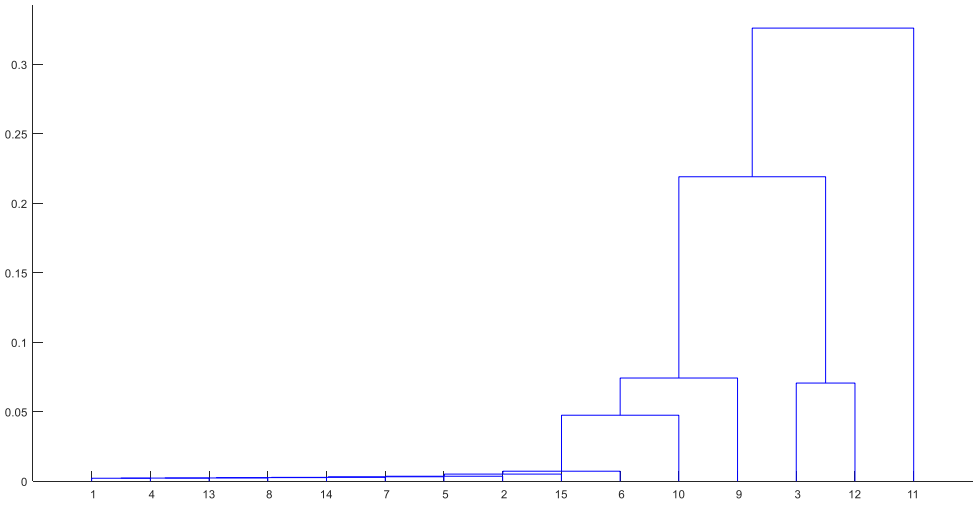


Figura 6.27. Dendrograma para 15 clases según el vecino más próximo.

Según **linkage = centroid** (centroide más próximo), el dendrograma para K = 15 viene representado por Figura 6.28.

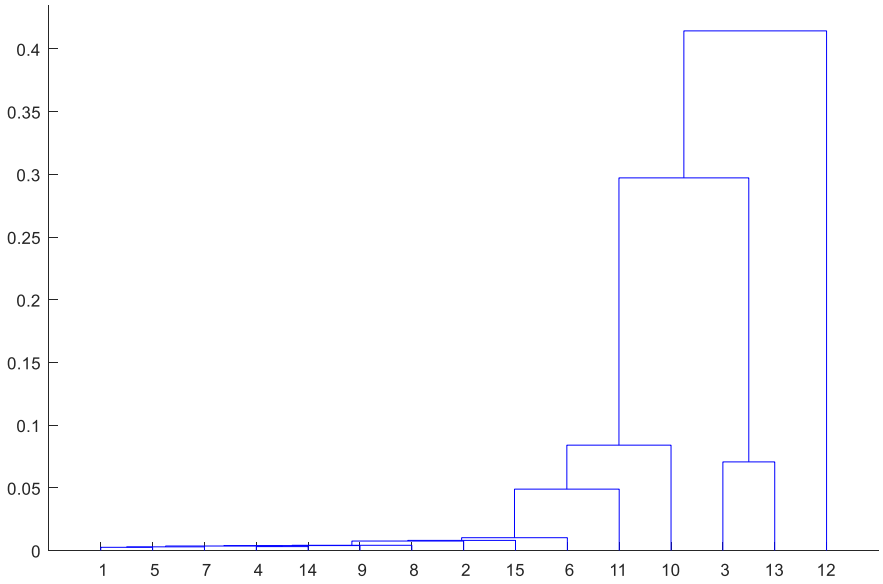


Figura 6.28. Dendrograma para 15 clases según el centroide más próximo.

Igual que en los casos anteriores, la distancia entre pares de clases también es mayor en el caso del centroide que en el caso de la observación más próxima. Pero entre los pares de las ramas de abajo, las distancias se aproximan mucho.

En el caso de la función *dendrogram*, la clase 1 tiene 73 descargas según el vecino más próximo; pero tiene 69 descargas según el centroide más próximo. La clase 8 tiene 2 descargas según el vecino más próximo, frente a 1 que tiene según el centroide más próximo. Y la clase 9 tiene 1 descarga según el vecino más próximo y 6 descargas según el centroide más próximo.

Hay que tener en cuenta que los emparejamientos entre clases varían según se trate del vecino o del centroide más próximo.

Nota: *Para no sobrecargar en exceso la sección de Tareas de Clasificación No Supervisada, y dado que se explican detalladamente los procesos y gráficas que se van mostrando en cada momento; se prescindirá en lo que sigue de esta sección de la identificación en los pies que contiene cada una de las figuras o tablas.*

Dado que la función *kmeans* tiende a distribuir un mayor número de descargas en cada clase, salvo cuando se trata de la clase mayoritaria; se ha optado por considerar la función *kmeans* frente a la utilización de las siguientes combinaciones de funciones:

pdist('euclidean') + linkage('single') + cluster

pdist('euclidean') + linkage('centroid') + cluster

pdist('euclidean') + linkage('single') + dendrogram

pdist('euclidean') + linkage('centroid') + dendrogram

Por lo que se pasa a recopilar la información, ya mostrada anteriormente, acerca de los resultados obtenidos mediante dicha función.

Veamos qué ocurre con los centroides para K = 2 y para K = 15. Para K = 2, tenemos que las primeras 16 componentes, de sus dos centroides serían:

-0,00080177	-0,00079547	-0,00078876	-0,00078183	-0,0007751	-0,00076811	-0,00076162	-0,00075572	-0,00074868	-0,00074149	-0,00073446	-0,00072778	-0,00072099	-0,00071447	-0,00070825	-0,0007018
0,057467	0,05652309	0,05558963	0,05466674	0,05375417	0,05285181	0,05195948	0,05107738	0,05020532	0,0493441	0,04849101	0,04764875	0,0468163	0,04599439	0,04518046	0,04437714

Siendo las últimas 16 componentes, de sus dos centroides:

-2,5089E-05	-3,0721E-05	-3,6535E-05	-4,1706E-05	-4,7922E-05	-5,5965E-05	-6,438E-05	-7,2E-05	-7,9426E-05	-8,803E-05	-9,8004E-05	-0,00010527	-0,00010916	-0,00010465	-9,1403E-05	-6,9742E-05
-0,00019663	-0,00022946	-0,0002688	-0,00031185	-0,00035379	-0,000393	-0,00043539	-0,00049066	-0,00056057	-0,00063604	-0,00071001	-0,00077826	-0,00083014	-0,00084724	-0,00081101	-0,00070308

La suma de las distancias, el número de descargas por clase y la suma total de distancias para cada valor de K, se recogen a continuación. La matriz de pertenencia se muestra sólo en el caso de K = 15, pero el procedimiento de obtención para todos los valores de K sigue siendo el mismo.

K = 2		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0,174360415	1	88
0,00249547	2	2
Suma Total		
0,176855885		

K = 3		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0,00249547	1	2
2,68781E-33	2	1
0,009846193	3	87
Suma Total		
0,012341663		

K = 4		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0	1	1
0	2	1
0,002871693	3	86
0,00249547	4	2
Suma Total		
0,005367163		

K = 5		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0,00249547	1	2
0	2	1
0,000505093	3	85
0	4	1
1,60912E-34	5	1
Suma Total		
0,003000562		

K = 6		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0	1	1
0	2	1
0,00249547	3	2
3,07904E-05	4	7
0,000347756	5	78
0	6	1
Suma Total		

0,002874015	

K = 7		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0,000142196	1	74
0	2	1
0	3	1
3,07904E-05	4	7
6,56715E-05	5	4
0	6	1
0,00249547	7	2
Suma Total		
0,002734127		

K = 8		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
1,70488E-35	1	1
0	2	1
4,84412E-05	3	6
3,07904E-05	4	7
0,000106453	5	71
0	6	1
0	7	1
0,00249547	8	2
Suma Total		
0,002681154		

K = 9		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
6,55251E-36	1	1
0,000106453	2	71
3,07904E-05	3	7
0	4	1
0	5	1
0,00249547	6	2
1,306E-36	7	1

2,14622E-05	8	5
0	9	1
Suma Total		
0,002654175		

K = 10		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0	1	1
0,00249547	2	2
4,9006E-06	3	4
8,84348E-05	4	68
0	5	1
1,04266E-05	6	3
1,41365E-35	7	1
4,84412E-05	8	6
9,12941E-06	9	3
0	10	1
Suma Total		
0,002656802		

K = 11		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
9,12941E-06	1	3
0	2	1
0,00249547	3	2
1,33307E-05	4	5
7,20919E-37	5	1
6,81572E-05	6	63
4,84412E-05	7	6
1,04266E-05	8	3
4,9006E-06	9	4
0	10	1
0	11	1
Suma Total		
0,002649855		

K = 12		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
1,10084E-05	1	5
3,07904E-05	2	7
2,16223E-05	3	9
6,46035E-36	4	1
2,14622E-05	5	5
4,23549E-05	6	53
0,00249547	7	2
1,04863E-05	8	4
0	9	1
6,90516E-36	10	1
0	11	1
0	12	1
Suma Total		
0,002633194		

K = 13		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
0,00249547	1	2
1,01429E-35	2	1
0	3	1
0	4	1
2,14622E-05	5	5
2,30756E-05	6	9
0	7	1
4,74275E-05	8	54
4,74563E-06	9	4
2,02091E-06	10	2
3,07904E-05	11	7
1,08432E-06	12	2
6,16976E-37	13	1
Suma Total		
0,002626076		

K = 14		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
1,01429E-35	1	1

1,04266E-05	2	3
7,20919E-37	3	1
2,14622E-05	4	5
9,12941E-06	5	3
0	6	1
0	7	1
5,5074E-05	8	58
4,74563E-06	9	4
2,02091E-06	10	2
0,00249547	11	2
7,34743E-06	12	4
4,9006E-06	13	4
0	14	1
Suma Total		
0,002610576		

K = 15		
Suma de Distancias	Nº Descargas por Clase	
6,90516E-36	1	1
1,08432E-06	2	2
0	3	1
6,46035E-36	4	1
4,9006E-06	5	4
0	6	1
0	7	1
1,04266E-05	8	3
1,1777E-05	9	6
2,02091E-06	10	2
5,05277E-05	11	56
5,71281E-38	12	1
4,74563E-06	13	4
2,14622E-05	14	5
0,00249547	15	2
Suma Total		
0,002602414		

Para K = 15, tenemos que las primeras 16 componentes, de sus 15 centroides

serían:

-0,00302077	-0,00284028	-0,00266669	-0,00249906	-0,00233812	-0,002183	-0,00203437	-0,00189141	-0,00175474	-0,0016236	-0,00149854	-0,00137887	-0,00126507	-0,00115651	-0,00105364	-0,00095585
1,6929E-05	1,5847E-05	1,415E-05	1,1772E-05	8,5954E-06	4,5537E-06	-4,6336E-07	-6,1471E-06	-1,0434E-05	-1,0872E-05	-6,7013E-06	-3,5288E-07	4,9375E-06	6,4422E-06	4,434E-06	7,3604E-07
-0,01106931	-0,01098994	-0,01091093	-0,0108323	-0,01075402	-0,01067612	-0,01059858	-0,01052165	-0,01044483	-0,01036838	-0,01029229	-0,01021656	-0,01014119	-0,01006618	-0,00999153	-0,00991724
-0,00119901	-0,00120135	-0,00120358	-0,0012057	-0,00120772	-0,00120963	-0,00121143	-0,00121313	-0,00121473	-0,00121622	-0,00121761	-0,00121891	-0,0012201	-0,00122119	-0,00122218	-0,00122308
2,9236E-05	2,7014E-05	2,412E-05	2,0312E-05	1,5329E-05	8,9347E-06	1,4229E-06	-4,8817E-06	-7,3211E-06	-5,8502E-06	-3,0255E-06	-1,092E-06	1,6628E-07	1,4837E-06	3,0935E-06	4,7954E-06
-0,06225976	-0,06164346	-0,06103232	-0,06042405	-0,05981977	-0,05921948	-0,05862428	-0,05803192	-0,0574435	-0,05685903	-0,05627956	-0,05570291	-0,05513016	-0,05456236	-0,05399736	-0,05343622
0,00846055	0,00834944	0,0082394	0,00813006	0,00802161	0,00791422	0,00780753	0,00770172	0,00759695	0,00749288	0,00738967	0,0072875	0,00718601	0,00708538	0,00698577	0,00688683
1,5178E-05	1,8009E-05	1,9323E-05	1,9367E-05	1,8452E-05	1,6829E-05	1,484E-05	1,2863E-05	1,0485E-05	8,2577E-06	7,5586E-06	9,0582E-06	1,2207E-05	1,5474E-05	1,7243E-05	1,6473E-05
-5,6337E-06	-6,8931E-06	-6,7348E-06	-5,516E-06	-3,5755E-06	-1,2637E-06	1,0723E-06	3,0655E-06	4,347E-06	4,78E-06	4,7438E-06	4,7014E-06	5,1041E-06	6,0885E-06	7,0338E-06	7,0746E-06
0,00077907	0,00071804	0,00065116	0,00058568	0,00052891	0,00047677	0,00042287	0,00037181	0,00032681	0,0002883	0,00025337	0,00021929	0,00018624	0,0001653	0,00015897	0,00014166
4,8889E-06	2,9469E-06	2,085E-06	1,7168E-06	1,022E-06	8,6842E-07	2,799E-07	-1,2725E-06	-1,3218E-06	-1,3658E-06	-1,6225E-06	-2,4905E-06	-3,4461E-06	-5,0236E-06	-7,1552E-06	-8,4002E-06
0	5,2029E-06	8,853E-06	1,1014E-05	1,1737E-05	1,1079E-05	9,1401E-06	5,9779E-06	1,554E-06	-4,1015E-06	-1,0565E-05	-1,7556E-05	-2,6482E-05	-3,7785E-05	-4,4663E-05	-4,0349E-05
3,3771E-06	1,8549E-06	5,6194E-07	-5,8203E-07	-1,6686E-06	-2,4355E-06	-2,1308E-06	-6,4682E-07	1,2994E-06	1,3958E-06	-2,3006E-06	-5,3189E-06	-3,2615E-06	-8,7412E-07	-1,5229E-06	-4,7409E-07
-0,00069517	-0,00068844	-0,00068179	-0,00067521	-0,0006687	-0,00066226	-0,0006559	-0,00064961	-0,00064339	-0,00063725	-0,00063117	-0,00062511	-0,00061893	-0,00061245	-0,0006058	-0,00059923
0,057467	0,05652309	0,05558963	0,05466674	0,05375417	0,05285181	0,05195948	0,05107738	0,05020532	0,0493441	0,04849101	0,04764875	0,0468163	0,04599439	0,04518046	0,04437714

Siendo las últimas 16 componentes, de sus 15 centroides:

-3,8378E-06	-8,4068E-06	-9,5931E-06	-2,5297E-06	1,3878E-05	2,9651E-05	3,3716E-05	2,2376E-05	-3,4966E-06	-4,0701E-05	-8,159E-05	-0,00011672	-0,00012736	-9,1309E-05	1,3787E-05	0,00021011
-4,2482E-05	-4,8929E-05	-4,427E-05	-3,4359E-05	-2,501E-05	1,2368E-05	0,00011464	0,0002921	0,00046685	0,0005546	0,0004924	0,00029036	-2,6567E-05	-0,00043045	-0,00089717	-0,00139827
0,00015554	0,00017166	0,00018781	0,00020398	0,00022018	0,00023641	0,00025267	0,00026895	0,00028527	0,00030162	0,00031799	0,00033439	0,00035082	0,00036728	0,00038378	0,0004003
4,9981E-05	5,2838E-05	5,5617E-05	5,8319E-05	6,0942E-05	6,3474E-05	6,5939E-05	6,8325E-05	7,063E-05	7,2853E-05	7,4995E-05	7,7055E-05	7,9017E-05	8,091E-05	8,272E-05	8,4444E-05
-0,00052529	-0,00057589	-0,00062815	-0,0006801	-0,00073196	-0,00078624	-0,00084508	-0,00090581	-0,00096334	-0,00101647	-0,00106971	-0,00112359	-0,00116311	-0,0011687	-0,00112135	-0,00100151
-2,577E-05	-1,0492E-05	3,2341E-05	0,00011841	0,00020431	0,00026191	0,00031394	0,00037225	0,00042506	0,0004695	0,00051288	0,00055452	0,00058888	0,00062458	0,00067751	0,00076393
-2,9723E-07	-3,1615E-06	-1,9468E-06	6,3506E-06	1,5904E-06	-2,7393E-05	-5,5092E-05	-8,1811E-05	-0,00011792	-0,0001271	-3,6614E-05	0,00022209	0,00046401	0,00050069	0,00037847	0,00017407
-5,1068E-05	-0,00013216	-0,0002306	-0,00034336	-0,00046235	-0,0006018	-0,00076432	-0,0009401	-0,00113217	-0,00133537	-0,00153902	-0,00174636	-0,00195006	-0,00213192	-0,00228385	-0,00240144
5,4367E-05	5,3001E-05	5,5554E-05	6,3854E-05	7,6116E-05	9,0456E-05	0,00011391	0,00014566	0,00017742	0,00021154	0,0002459	0,00026805	0,000278	0,00027781	0,00025774	0,00020622
9,7911E-05	7,8005E-05	5,52E-05	4,4893E-05	3,6091E-05	1,6332E-05	-4,3711E-06	-1,9598E-05	-2,8003E-05	-2,931E-05	-4,289E-05	-9,9123E-05	-0,0001294	-8,195E-05	-4,2014E-05	-0,00011382
-1,8248E-06	-8,8583E-07	2,3025E-07	8,8375E-07	-1,8542E-07	-2,3314E-06	-6,191E-06	-1,2173E-05	-1,7927E-05	-2,2135E-05	-2,5729E-05	-2,5992E-05	-1,4955E-05	1,3063E-05	5,3782E-05	0,00010274
0,00018347	0,00018891	0,00019254	0,00019409	0,00019365	0,00019132	0,00018682	0,00018038	0,00017169	0,00016087	0,00014803	0,00013285	0,0001156	9,5938E-05	7,416E-05	4,9899E-05
-0,00016723	-0,00018536	-0,00020676	-0,00023087	-0,00025748	-0,00028515	-0,00031203	-0,00033556	-0,00035122	-0,0003567	-0,00035156	-0,00033736	-0,00031594	-0,00027576	-0,00019556	-5,4066E-05
4,2949E-06	4,022E-06	-1,6893E-06	-5,6852E-06	-7,0694E-06	-1,1784E-05	-1,9875E-05	-2,3593E-05	-2,0847E-05	-3,3031E-05	-3,8307E-05	1,6006E-05	3,4105E-05	2,4743E-06	-4,2919E-05	-7,2001E-05
-0,00019663	-0,00022946	-0,0002688	-0,00031185	-0,00035379	-0,000393	-0,00043539	-0,00049066	-0,00056057	-0,00063604	-0,00071001	-0,00077826	-0,00083014	-0,00084724	-0,00081101	-0,00070308

Se presenta, a continuación, la clase a la que pertenece cada una de las descargas, analizado para K = 15.

Clase de cada descarga	
84628	11
84639	9
84640	9
84648	14
84655	11
84656	4
84657	12
84658	11
84676	11
84677	13
84679	11
84681	11
84691	11
84696	11
84707	11
84715	14
84764	11
84766	11
84775	11

84819	11
84820	8
84826	10
84857	11
84860	15
84862	11
84870	10
84886	9
84893	14
84894	11
84898	11
84933	11
84937	11
84946	11
84955	11
84957	11
84960	11
84962	11
84999	11
85005	9
85013	11
85048	11
85058	11
85062	8
85072	11
85073	11
85074	3
85076	5
85077	11
85106	5
85164	7
85165	11
85170	11
85179	11
85182	11
85185	11
85187	6
85189	5
85190	13
85191	11

85192	15
85257	11
85285	11
85286	11
85290	11
85291	11
85292	11
85293	13
85294	11
85300	11
85317	11
85318	14
85359	11
85360	14
85383	11
85387	11
85390	9
85395	11
85397	1
85408	9
85414	5
85429	11
85430	11
85440	11
85467	13
85472	11
85473	11
85861	2
85869	8
85925	2
85964	11

Al finalizar las tareas de clasificación, y considerando K = 15, existen 9 clases que tienen más de una descarga asociada. Pero la clase número 11, con 56 descargas asociadas, es la que acapara mayor atención. Para el resto de valores de K, que han sido analizados, también prevalece una clase muy por encima de todas las demás. Por lo que no sería posible clasificar dichas disrupciones de forma fiable.

7. Conclusiones.

Dada la magnitud de este proyecto, para dar una idea del mismo, se describen a grandes rasgos los procedimientos generales que formaron parte de dicho desarrollo.

- Extracción de las 1.024 muestras previas al instante de la disrupción para las 200 descargas disruptivas.
- Tratamiento de los precursores de disrupciones según el Criterio de la Máxima Pendiente Media y según el Criterio del Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] para las 200 descargas disruptivas; seleccionando finalmente aquellas que llegaban a superar un Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] igual a 6.
- Descomposición de Modo Empírico (EMD) [Norden 2005] de las 90 descargas.
- Análisis Espectral de Hilbert (HSA) [Norden 2005] de las 90 descargas.
- Clasificación no supervisada [Url5], teniendo en cuenta tres alternativas diferentes.

Después del largo y complejo proceso de experimentación que suponen las tareas anteriores, se trataron tres campañas de JET, comprendidas entre los años 2011 y 2012, en las que se dieron unas 1.500 descargas no disruptivas; y de las 200 descargas disruptivas analizas, fueron consideradas para la clasificación no supervisada [Url5] 90 de esas 200 descargas. Y analizados los resultados obtenidos, hay prácticamente un único agrupamiento; por lo que considerar únicamente la señal Locked Mode, no es suficiente. Con la señal Locked Mode sólo se pueden predecir disrupciones, pero no se pueden clasificar dichas disrupciones.

8. Futuras líneas de trabajo.

Como líneas de trabajo futuras se propondría un análisis supervisado [Url5], donde el aprendizaje automático considerara el entrenamiento de varias señales. Podría venir representado por un esquema como se muestra en Figura 8.1.

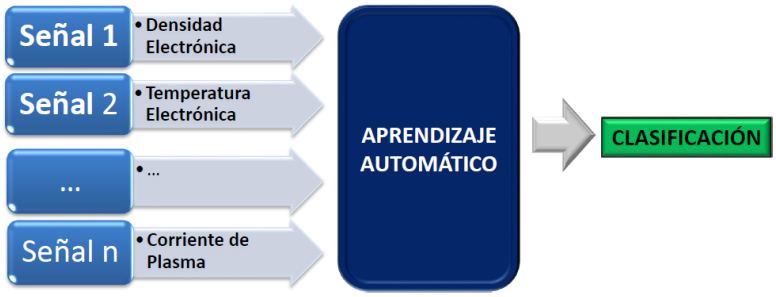


Figura 8.1. Esquema para análisis supervisado de varias señales.

Una segunda alternativa sería, utilizando un mayor número de señales, realizar una combinación en cascada de distintos clasificadores. Es decir, tener en una etapa varios clasificadores cuyas salidas sean la entrada de un nuevo clasificador, tal y como se muestra en Figura 8.2.

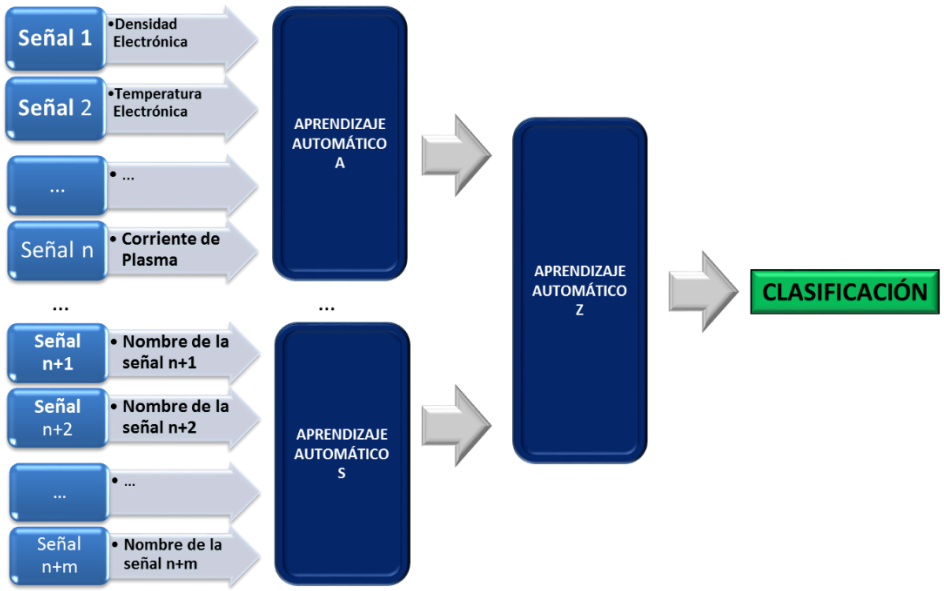


Figura 8.2. Esquema para análisis supervisado en cascada.

Como método de análisis supervisado [Url5], se podría utilizar el tratamiento mediante Predictores Venn. Para ello, se realizarían las siguientes tareas generales:

- Selección del fichero clasificado, que es tomado como referencia. Ese fichero estaría constituido por una serie de descargas disruptivas ya clasificadas por un experto. Recordemos que la clasificación realizada por el experto es manual ya que, como se ha visto, no ha sido posible a día de hoy obtener una clasificación de forma automática.
- Selección del fichero que contiene el conjunto de datos a clasificar.
- Validación y control de errores de ambos ficheros.
- Una vez seleccionados los conjuntos de entrada a la aplicación, ésta permitiría realizar dos tipos de clasificación; siendo probabilísticas ambas clasificaciones.
- ***Clasificación basada en el Centroide más próximo***:
    - Examinando el fichero de referencia que contiene los conjuntos ya clasificado (a los que llamaremos vectores), se extraerán todas las clases diferentes a las que puede pertenecer cada conjunto (vector).
    - Para cada una de esas clases diferentes, se encontrarían sus respectivos vectores en el fichero de referencia (conjunto de entrenamiento). Encontrados todos ellos, se hallarían los valores medios para cada una de las componenes (muestras) de esa clase. Dichos valores medios, constituirán el centroide de su clase correspondiente.
    - Para cada uno de los vectores a clasificar, se iría suponiendo la pertenencia a cada una de las posibles clases del conjunto de entrenamiento.
    - Basándonos en el concepto de distancia Euclídea, se irían examinando las distancias existentes entre el vector a clasificar y todos los centroides posibles encontrados anteriormente.
    - Según se vayan obteniendo los resultados anteriores, se

determinaría la clase ganadora para el vector a clasificar; así como el intervalo de probabilidad mínima y máxima de que pertenezca a dicha clase ganadora.

- Se presenta en Figura 8.3, mediante un diagrama de bloques, los procesos y subprocesos que integrarían el nuevo escenario.

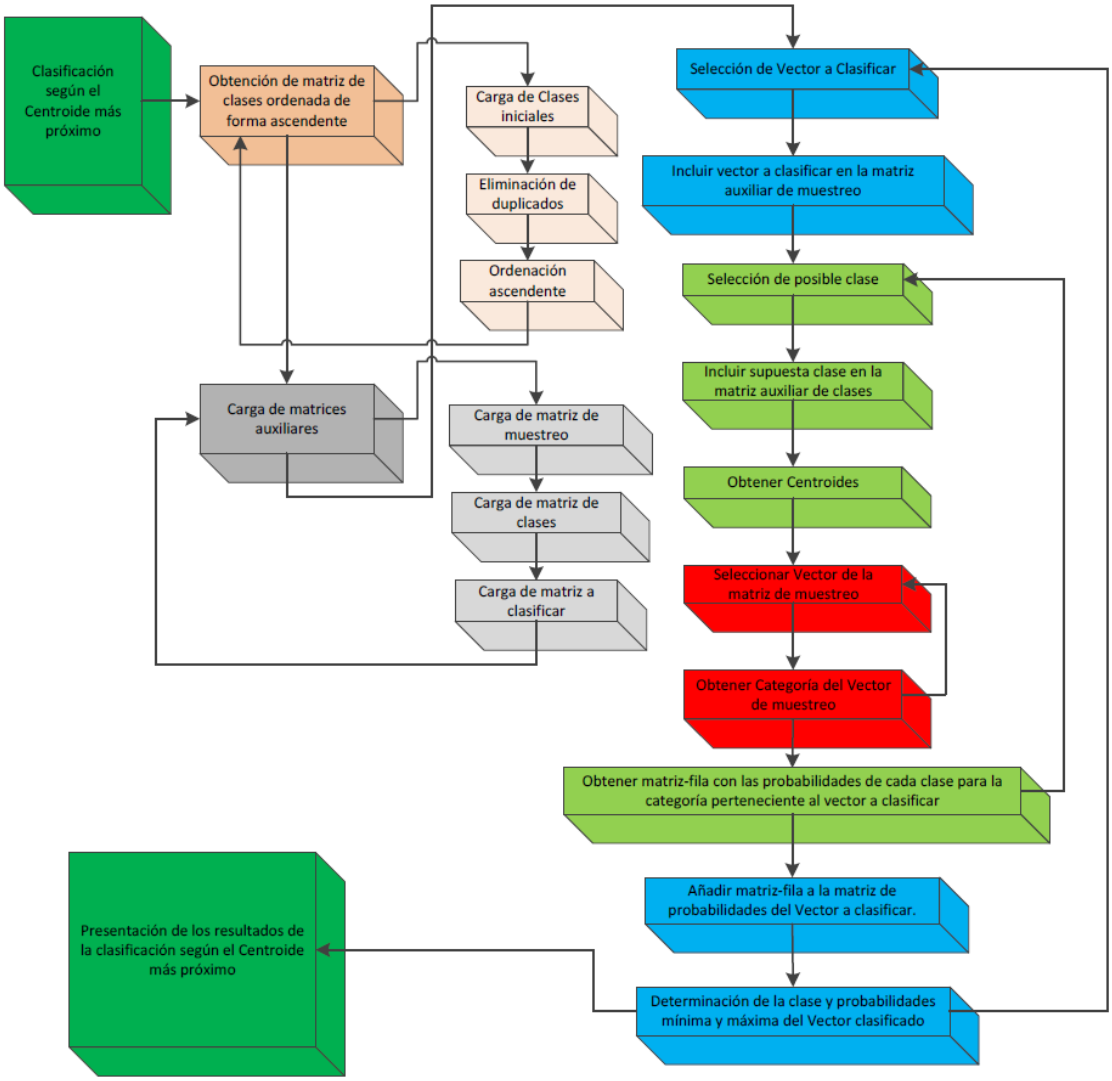


Figura 8.3. Proceso de análisis supervisado mediante predictores Venn según el Centroide más próximo.

- ***Clasificación basada en el Vecino más próximo.***
    - Examinando el fichero de referencia que contiene los conjuntos ya clasificado (a los que llamaremos vectores), se extraerán todas las clases diferentes a las que puede pertenecer cada conjunto (vector).
    - Para cada uno de los vectores a clasificar, se iría suponiendo la pertenencia a cada una de las posibles clases del conjunto de entrenamiento.
    - Basándonos en el concepto de distancia Euclídea, se irían examinando las distancias existentes entre el vector a clasificar y todos los vectores que componen el conjunto de entrenamiento.
    - Según se vayan obteniendo los resultados anteriores, se determinaría la clase ganadora para el vector a clasificar; así como el intervalo de probabilidad mínima y máxima de que pertenezca a dicha clase ganadora.

- Se presenta en Figura 8.4., mediante un diagrama de bloques, los procesos y subprocesos que integrarían este nuevo escenario:

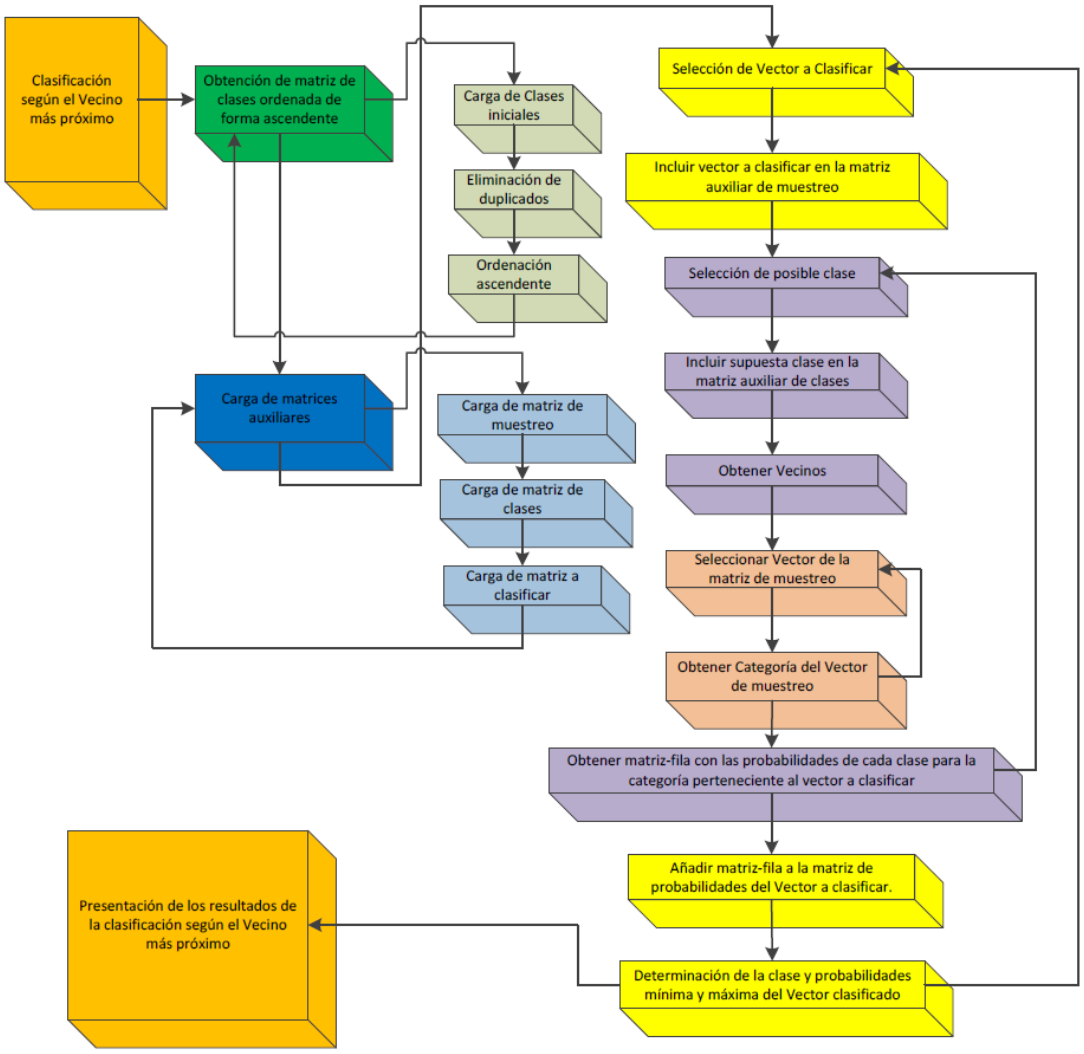


Figura 8.4. Proceso de análisis supervisado mediante predictores Venn según el Vecino más próximo.

9. Lista de Referencias y Bibliografía.

[Url1] http://www.foronuclear.org/consultas-es/consultas-al-experto/ique-es-el-iter

[Url2] http://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/fusion-nuclear

[Url3] http://dsp1.materia.unsl.edu.ar/Muestreo%20y%20Reconstruccion%20Ejemplos.pdf

[Url4] http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-en-audio-y-video/contenidos/Tema-0/el_db_en_comunicaciones

[Url5] http://redesneuronal.blogspot.com.es/

[Url6] http://www.iidia.com.ar/rgm/comunicaciones/WICC-2012-296-300.pdf

[Url7] http://mathematicsdictionary.com/spanish/vmd/full/o/outlier.htm

[Url8] https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_at%C3%ADpico

[Url9] http://hotmath.com/hotmath_help/spanish/topics/outliers.html

[Url10] http://www.galeon.com/senales/aficiones1349723.html

[Url11] http://www.gestiondeoperaciones.net/proyeccion-de-demanda/efecto-de-un-dato-atipico-u-outlier-en-un-pronostico-de-demanda/

[Url12] http://www.quimica.es/enciclopedia/Tokamak.html

[Url13] https://www.euro-fusion.org/jet/

[Url14] [http://www.lapizarradeyuri.com/wp-content/uploads/2015/03/15_tokamak_iter.jpg

[Url15] http://www-fusion.ciemat.es/New_fusion/es/Fusion/glosario_es.pdf

[Url16] https://sputnik87.wordpress.com/tag/reactor-tokamak/

[Vega y Otros] **Real-time anomaly detection for disruption prediction: the JET case**

J. Vega[1], A. Murari[2], S. Dormido-Canto[3], R. Moreno[1], A. Pereira[1], S. Esquembri[4] and JET Contributors* EUROfusion Consortium, JET, Culham Science Centre, Abingdon, OX14 3DB, UK

[1]Laboratorio Nacional de Fusión, CIEMAT, Madrid, Spain

[2]Consorzio RFX (CNR, ENEA, INFN, Universitá di Padova, Acciaierie Venete SpA), Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova, Italy

[3]Dpto. Informática y Automática - UNED, Madrid, Spain

[4]Technical University of Madrid (UPM), Madrid, Spain

[Norden 2005] **Introduction to the Hilbert-Huang Transform and its Related Mathematical Problems (Chapter 1).** Norden E. Huang and Samuel S.P. Shen. 2005 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

[Yutian 2012] **Nonlinear Distortion Identification based on Intra-wave Frecuency Modulation.** Yutian Wang, Hui Wang y Qin Zhang. 1 September 2012. Information Engineering School, Communication University of China, Beijing 100024, China.

[Barrientos 2007] **Fundamentos de Robótica, 2ª Edición.** A. Barrientos y otros. ISBN: 978-84-481-5636-7. Editorial: Mc Graw Hill, 2007.

9.1. Notas acerca de las referencias y bibliografía empleadas.

Se trata fundamentalmente de artículos en revistas de investigación e instituciones especializadas.

Algunas referencias son utilizadas únicamente para la implementación de los procedimientos. Por ejemplo, [Barrientos 2007] ha sido utilizado para consultar el uso de la spline cúbica en el control cinemático; utilizándolo en nuestro caso para contrastar la implementación de la interpolación mediante dicha spline cúbica.

Otras, como [Yutian 2012], han sido consultadas para contrastar con [Norden 2005].

10. Listado siglas, abreviaturas y acrónimos.

- UNED → Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- CIEMAT → Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- ITER → International Thermonuclear Experimental Reactor.
- JET → Joint European Torus.
- F_4E → Fusion for Energy.

11. Lista de palabras clave.

Para poder comprender mejor el proyecto, conviene conocer la terminología empleada. Por ello, antes de abordar el objetivo del mismo, se facilitan una serie de términos con el significado que ellos encierran.

IMF: Función de Modo Intrínseco. Viene representada por el conjunto de valores (curva) que cumple con los criterios de convergencia. Dichos criterios de convergencia son los apuntados en el Resumen del Proyecto.

Residuo: Resultante de la diferencia entre la función procedente de un ciclo anterior y la IMF obtenida en el ciclo actual.

EMD: Descomposición de Modo Empírico [Norden 2005]. Se refiere al proceso seguido por el algoritmo de Hilbert-Huang. En nuestro caso, se parte de una función (filtrada según el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11]), y se procede a su descomposición hasta haber obtenido todas sus IMF's.

Criterio de Convergencia de tipo Cauchy:

$$SD_k = \frac{\sum_{t=0}^{T} |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^{T} h_{k-1}^2}$$

Este criterio de convergencia se ha fijado en menor o igual a 0,01. Donde h_{k-1} representa los valores de la función de Hilbert-Huang para el ciclo anterior; y h_k representa los valores de la función de Hilbert-Huang para el ciclo actual.

Disrupción: Pérdida abrupta de confinamiento del plasma. Una disrupción es un fenómeno complejo, relacionado con inestabilidades magneto-hidrodinámicas del plasma, en el que provoca una pérdida rápida de energía; y la consiguiente terminación brusca de la descarga. La energía del plasma se disipa en las paredes, bobinas, etc. Pudiendo producir graves daños. Este fenómeno, que ocurre sólo en tokamaks, impone un límite máximo a la densidad, la presión y la corriente del plasma. No todas las disrupciones son igual de violentas, existiendo diferentes tipos de ellas. En la actualidad no hay un acuerdo, en el mundo de la fusión nuclear, acerca de cuántos tipos de

disrupciones existen.

Grupos o Clases (Clustering): Se forman teniendo en cuenta el centroide más próximo.

Aprendizaje No Supervisado: [Url5] Interviene un tipo de redes en el que la salida representa el grado de familiaridad o similitud entre la información que se le proporciona a la entrada y las informaciones que se le han proporcionado hasta entonces. Está constituido por un conjunto de reglas que dan a la red la habilidad de aprender asociaciones entre los patrones que ocurren en conjunto. Una vez que los patrones se han aprendido como asociación, le permite a las redes realizar tareas útiles de reconocimiento de patrones y la habilidad de recordar.

Factor de Outlier:

$$Factor(i) = \left| \frac{Amplitud(i) - media \sum_{j=1}^{j=i-1} Amplitud(j)}{desviación\ estándar \sum_{j=1}^{j=i-1} Amplitud(j)} \right|$$

El Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] determina los coeficientes y sus instantes, a partir de los cuales se genera una alarma ante una anomalía en el funcionamiento del sistema.

Tokamak: [Url12] La palabra Tokamak, acrónimo del ruso тороидальная камера магнитными катушками -toroidal'naya kamera s magnitnymi katushkami-, (en español cámara toroidal con bobinas magnéticas), designa un toro en cuya cámara sin aire se pretende confinar un plasma mediante dos fuertes campos magnéticos. Uno es creado por líneas magnéticas que rodean la cámara toroidal y el otro creado por la intensa corriente eléctrica del mismo plasma. Este plasma está compuesto por partículas cargadas muy ligeras que son aceleradas por el campo magnético hasta alcanzar velocidades próximas a la de la luz. El plasma se vuelve tan caliente que no se conocen materiales capaces de soportar tales temperaturas, de ahí la necesidad de aislarlo con un medio inmaterial como un campo magnético.

El objetivo de este aparato es obtener la fusión de las partículas del plasma, lo que generaría grandes cantidades de energía. En efecto, la reacción nuclear de fusión de dos partículas ligeras en una partícula más estable de peso medio, produce una energía en

relación con la equivalencia de Einstein:

$$E = m \cdot c^2$$

Las ventajas de la fusión sobre la fisión (que se utiliza hoy en las centrales nucleares) son que no produce desechos radiactivos directos y que no precisa de un combustible no renovable y tan escaso como el uranio. En cambio, es mucho más difícil de iniciar. No se ha alcanzado el punto de equilibrio entre la energía que se necesita para acelerar y confinar el plasma y la que se obtiene con la fusión de algunas partículas. Sin embargo, no hay razones teóricas para ello, sino sólo razones técnicas, que el proyecto internacional ITER tendrá que resolver.

Modo Bloqueado: En todos los tokamaks, una señal común que se utiliza para la predicción de la disrupción es la amplitud modo bloqueado (LM) . Cuando inestabilidades macroscópicas comienzan el bloqueo a la pared, la amplitud LM crece durante la desaceleración de la rotación. Por lo general, durante un experimento en marcha, si la amplitud LM cruza un umbral determinado, que se fija en marcha antes de los vertidos, se activa una alarma. Este umbral se selecciona de forma manual y se elige en función de las características del programa experimental: el umbral de LM se establece más bajo o más alto dependiendo del peligro potencial de las posibles disrupciones.

Centroide: Dado un conjunto de vectores pertenecientes a la misma clase, la suma de dichos vectores (componente a componente) dividida entre el número de vectores de esa clase; constituirá el valor promedio de dichos vectores. Ese valor promedio para los vectores de la clase – i -, constituirá el centroide de clase – i -. Para determinar a qué centroide pertenece un vector se utiliza la distancia Euclídea. Y cuando se obtiene la menor distancia Euclídea a un centroide, se concluirá que dicho vector pertenece a esa clase (centroide).

Plasma: Es un gas ionizado, compuesto por electrones, cationes (iones de carga positiva) y neutrones, todos separados entre sí y libres. Por esta razón es un excelente conductor

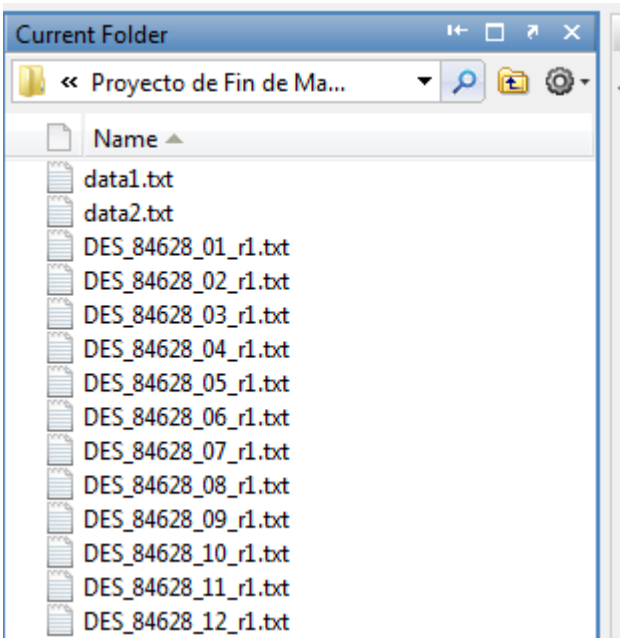
Filtro Paso Alto: Los filtros pasa alto [Url10] son aquellos que solo deja pasar frecuencias superiores a un cierto valor especifico.

12. Anexo A. Procesos que integran la aplicación.

12.1. Generación de Ficheros de Entrada a la Aplicación.

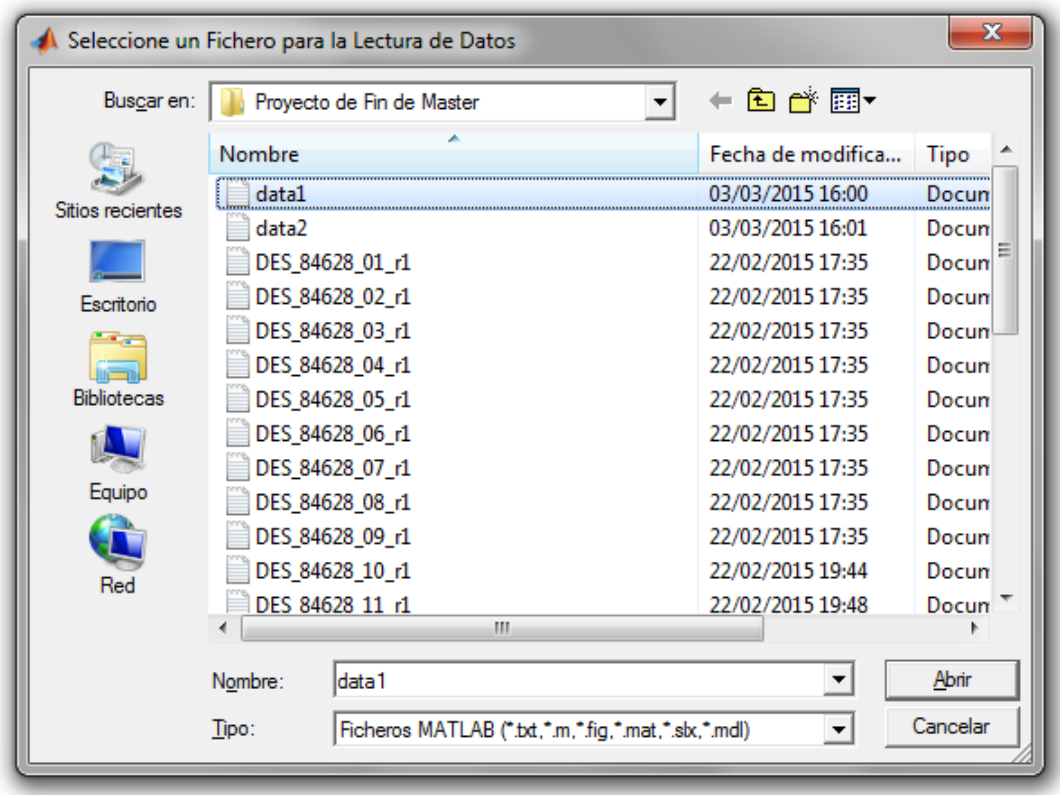
Se trata de una fase previa a la aplicación, en la que se generan los conjuntos de datos necesarios, para ser evaluados posteriormente por dicha aplicación.

Durante la primera fase se estudió el comportamiento de las 12 señales correspondientes a la descarga 84628. Tal y como se muestra a continuación, serán copiados a la carpeta que contiene el proyecto activo de Matlab, los ficheros de los que se extraerá la información.



- *Función* ***Obtener_Tiempo_Maximo_Disrupcion.***

Inicialmente se obtiene el tiempo máximo para una descarga disruptiva no intencionada. Dicha señal será seleccionada de la siguiente manera:



Se selecciona el fichero ***data1***.

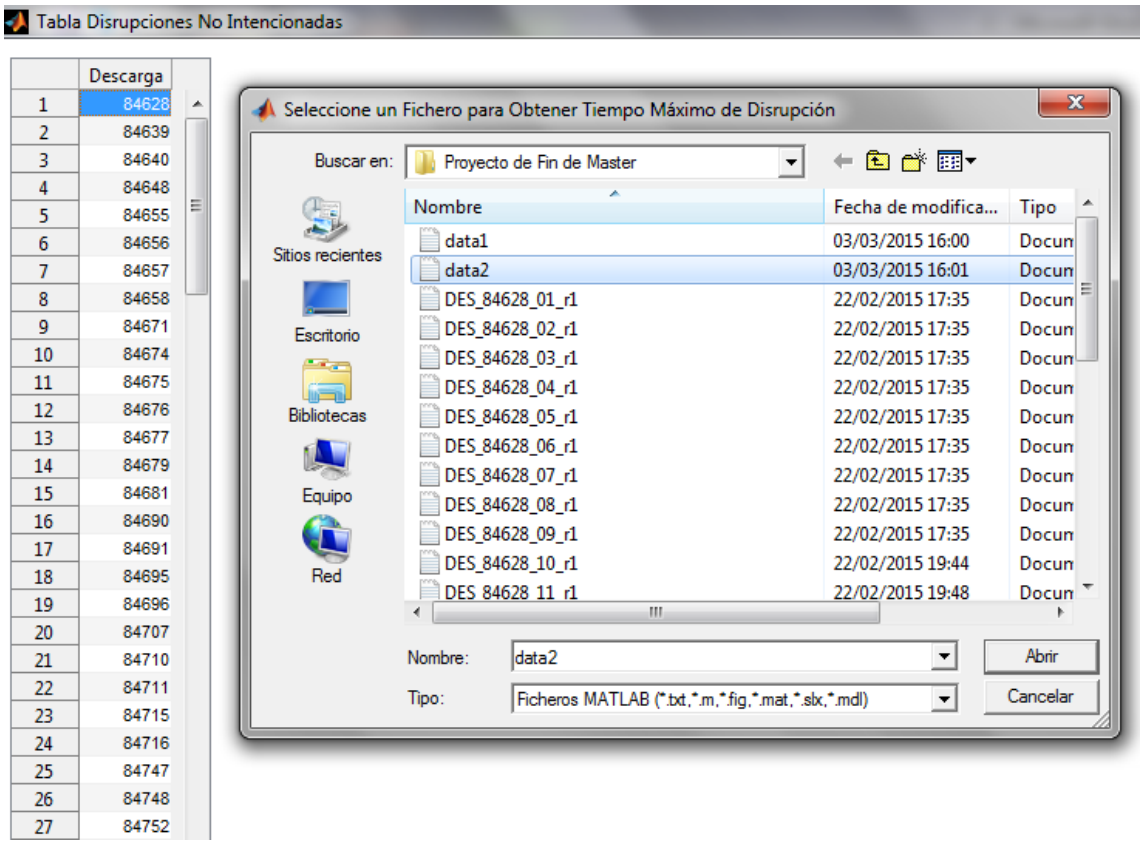
Una vez abierto el fichero, se presenta la siguiente interfaz en forma de tabla, con celdas seleccionables:

	Descarga
1	84628
2	84639
3	84640
4	84648
5	84655
6	84656
7	84657
8	84658
9	84671
10	84674
11	84675
12	84676
13	84677
14	84679
15	84681
16	84690
17	84691
18	84695
19	84696
20	84707
21	84710
22	84711
23	84715
24	84716
25	84747
26	84748
27	84752
28	84754
29	84764
30	84766
31	84771

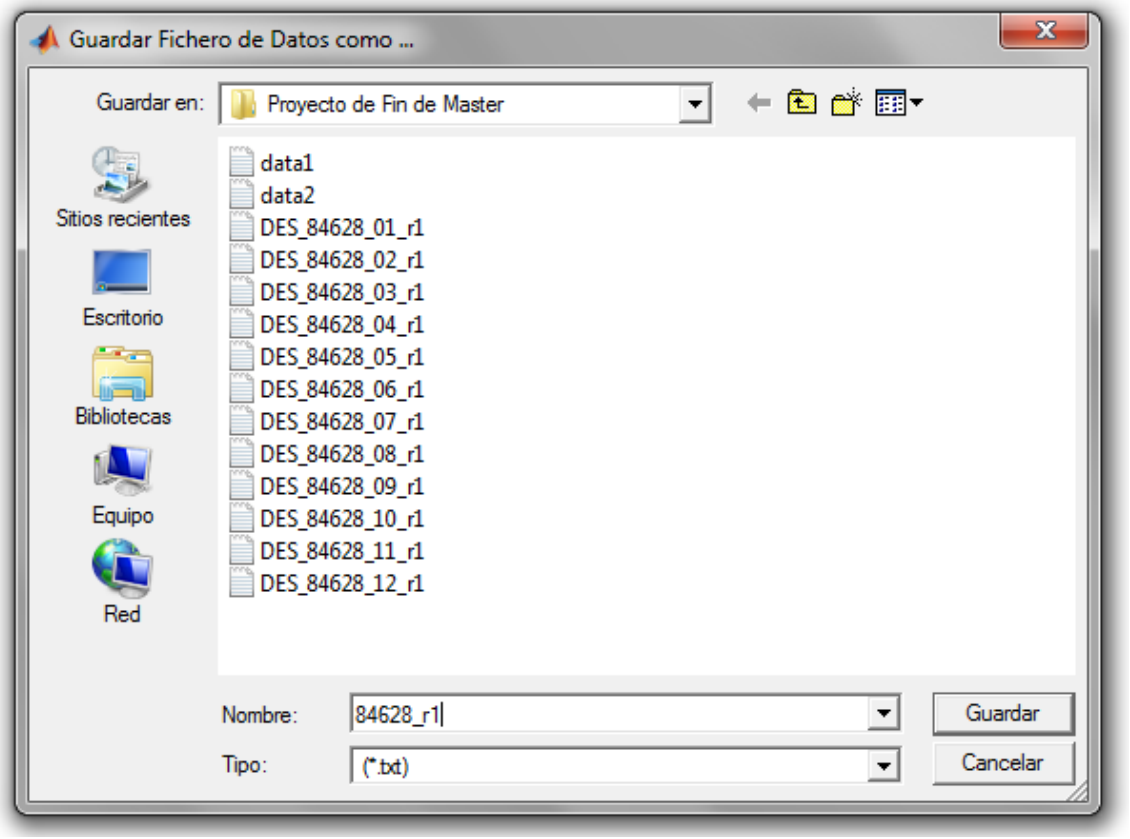
La interfaz anterior presenta una barra de scroll vertical, para visualizar y seleccionar cualquiera de las descargas Disruptivas No Intencionadas.

Si seleccionamos cualquiera de ellas, se abre otro diálogo; para seleccionar el fichero donde se debe buscar el tiempo máximo en el que se produce dicha disrupción.

Para buscar dicho tiempo máximo, seleccionamos el fichero ***data2***, y pulsamos Abrir.

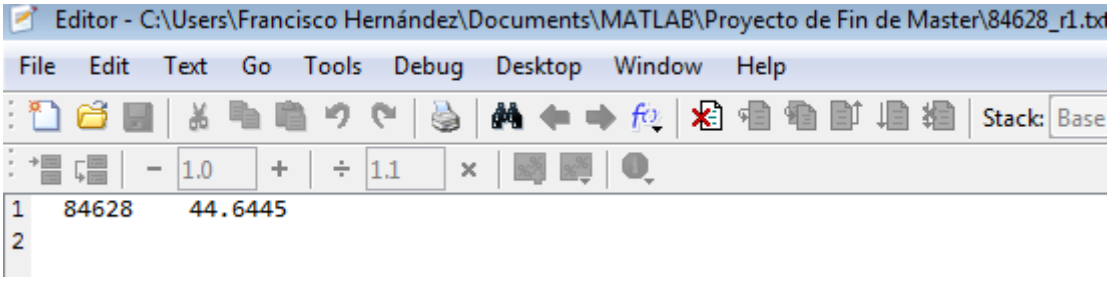


Dado que el intercambio de información desde la interfaz gráfica a otro tipo de interfaz, genera algunos problemas; se ha optado por guardar en un nuevo fichero el resultado de la disrupción seleccionada y su tiempo máximo. Para ello, se solicita al usuario un nombre de fichero. En nuestro caso, se ha optado por darle el que identifica el número de disrupción seguido del sufijo **_r1**:



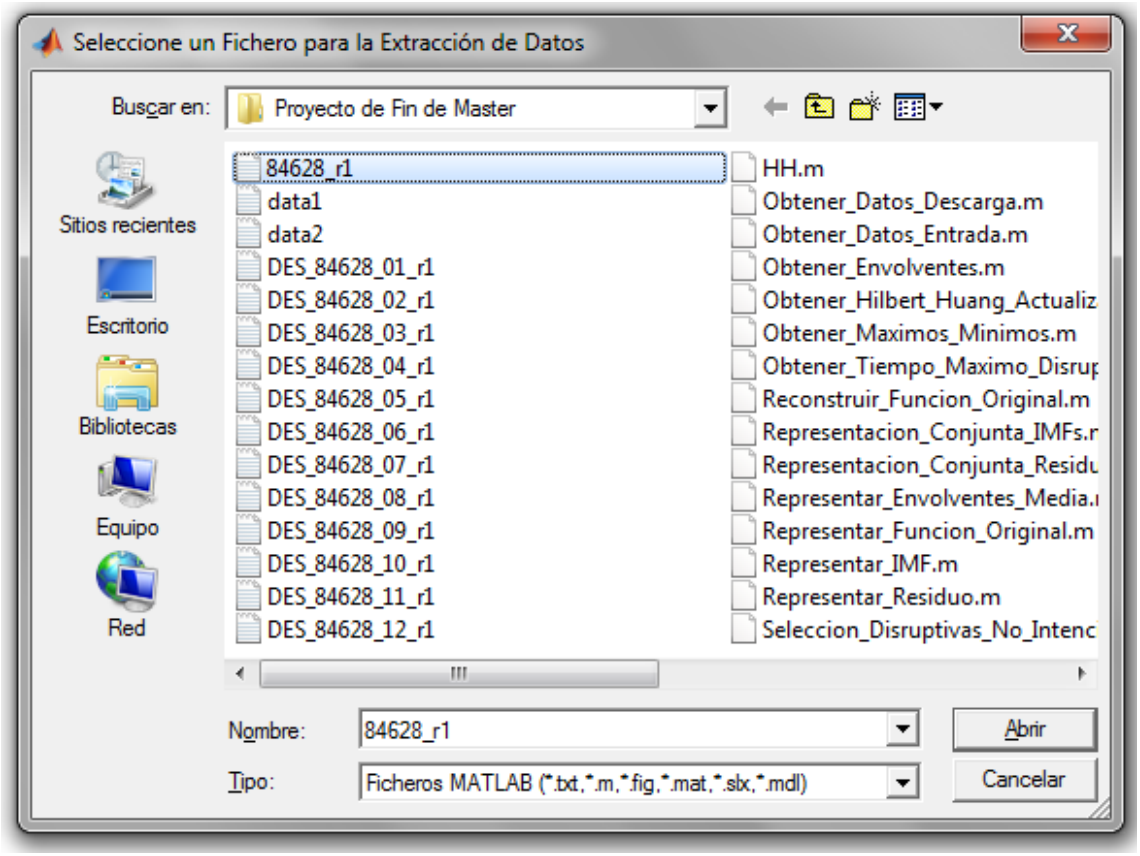
Y pulsamos en Guardar.

Si abrimos el fichero guardado, su contenido es el siguiente:



- *Función* ***Obtener_Datos_Descarga.***

Cuando se ejecuta esta función Matlab, aparecerá el siguiente diálogo:



En él, se ha seleccionado el fichero que ha sido generado en la etapa anterior. Recordamos que se trata del fichero que contiene la descarga seleccionada y su tiempo máximo.

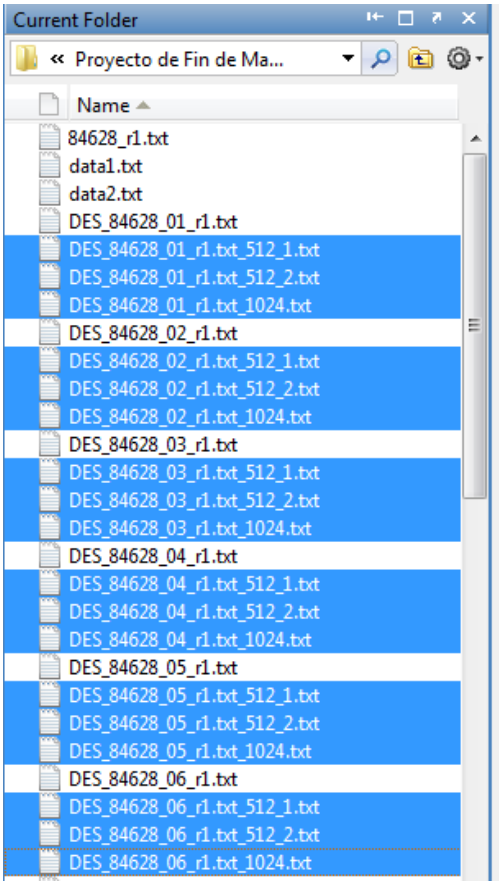
Teniendo en cuenta el fichero seleccionado para la extracción de datos anterior y las 12 señales (ficheros) de la descarga seleccionada, se obtienen a través de la función programada a tal efecto, y de forma automática, 36 ficheros (3 por cada señal).

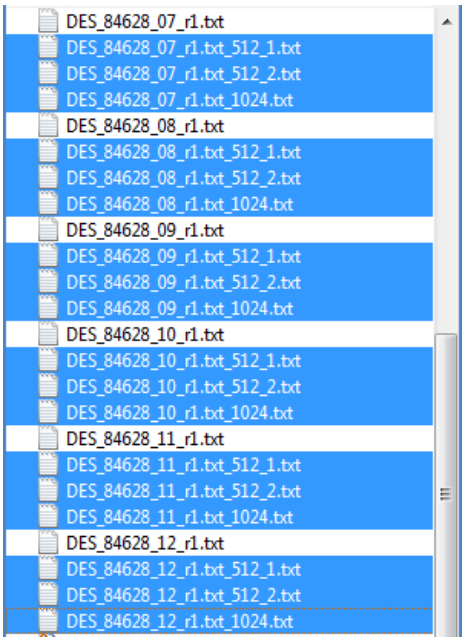
- Uno de ellos contendrá los últimos 1.024 pares de valores anteriores al tiempo máximo en el que se produce la disrupción. Se identificarán con el sufijo **_1024**.
- Otro de ellos contendrá los últimos 512 pares de valores anteriores al tiempo

máximo en el que se produce la disrupción. Se identificarán con el sufijo **_512_2**.

- El otro contendrá los 512 pares de valores anteriores a los últimos 512 pares de valores anteriores al tiempo máximo en el que se produce la disrupción. Se identificarán con el sufijo **_512_1**.

Los ficheros generados automáticamente, son depositados en la carpeta activa del proyecto Matlab, tal y como se muestra a continuación:





El proceso que se encarga de todo lo anterior, podría resumirse en Figura 12.1.

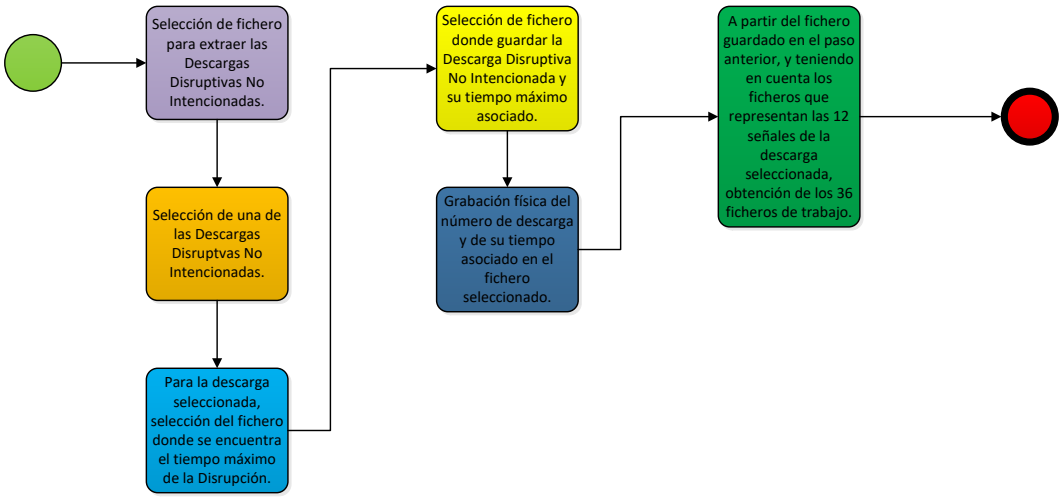


Figura 12.1. Proceso de obtención de los ficheros de entrada a la aplicación.

A cada uno de los 36 ficheros que se han generado según el diagrama anterior, le será aplicado el proceso de filtrado para obtener las sucesivas IMF's.

A medida que el trabajo fue avanzando, en lugar de focalizar la atención en las 12 señales disponibles para cada descarga, se tomó como referencia una sola de ellas. Se trata de la señal Locked Mode, una señal común que se utiliza para la predicción de disrupciones. Era necesario acotar el número de señales a analizar para cada descarga,

ya que serían tratadas las 100 descargas que componen la campaña seleccionada. Por tanto, en la fase previa de preparación de los datos para su posterior análisis, hubo que dar un enfoque diferente al visto anteriormente. Pasamos a dar cuenta de tales procesos:

- Lectura del fichero que contiene la señal Locked Mode (Modo Bloqueado) para las 100 descargas que componen la campaña. Se centra el estudio sólo en la señal número 2, descartando las otras 11 señales que componen cada descarga. Y también se descarta el estudio para los 512 últimos instantes anteriores a la disrupción, y para los 512 penúltimos instantes antes de la disrupción; centrándose el estudio a partir de los 1.024 instantes anteriores a la disrupción. En lugar de extraer tres ficheros por cada descarga/señal, sólo se extraerá uno de ellos, que contendrá los últimos 1.024 pares de valores anteriores al tiempo máximo en el que se produce la disrupción. Los datos que se obtienen se identificarán como **DES_XXXXX_02_r1.txt_1024_txt**; donde **XXXXX** representa el número de la descarga que se está tratando, **02** hace referencia a la señal 02 (Locked Mode), y el número **_1024_** hace referencia a los últimos 1.024 instantes muestreados antes de producirse la disrupción. Por tanto, en el fichero que se genera, no serán considerados instantes anteriores a esos 1.024. Para obtener estos datos, se utilizan las funciones Matlab vistas con anterioridad:
  - Obtener_Tiempo_Maximo_Disrupcion.
  - Obtener_Datos_Descarga.
- Lectura de los ficheros con nomenclatura **DES_XXXXX_02_r1.txt_1024_txt.** Para ello, la función Matlab ***Obtener_Datos_Descarga_2.m*** trataría los ficheros **DES_XXXXX_02_r1.txt_1024_txt** que tienen formato de lectura **%g\t %g\n** para el instante y amplitud de la muestra, respectivamente. Generándose el correspondiente fichero de nomenclatura **PXXXXX.txt** que contiene, además de los datos de entrada, las pendientes existentes entre cada par de instantes muestreados consecutivos. Este fichero generado, tendrá formato de salida **%.6f %.15f %+.15f\n** para el instante, amplitud y pendiente respectivamente. El signo '+' o '-' determinará si la pendiente de la curva es positiva (la amplitud crece respecto al instante anterior), o negativa (la amplitud decrece respecto al

instante anterior).

- Mediante la utilización de un programa Natural (lenguaje de programación orientado a la explotación de negocios), de nombre **FR160226**, se procede a la lectura de los ficheros **PXXXXX.txt** generados en el proceso anterior, para obtener los instantes donde se producen las variaciones de cambio de signo de la pendiente; generándose los correspondientes ficheros **QXXXXX.txt.** Estos ficheros generados, contienen:
    - Los instantes en los que se produce el cambio de signo para la pendiente.
    - El número de intervalos con el mismo signo.
    - Valor de la pendiente media para ese conjunto de intervalos, que tenían el mismo signo para la pendiente.

  De esta forma, si tenemos en el fichero **QXXXXX.txt** un registro con valor `59.080076 0016 00000126478750000` significará que a partir del instante 59,080076 segundos, existe un tramo formado por 16 intervalos (17 instantes muestreados) con un valor de pendiente relativa concreto.
- Mediante la utilización de un programa Natural, de nombre **FR160229**, se procede a la lectura de los ficheros **QXXXXX.txt** generados en el proceso anterior, para obtener el valor que da la máxima pendiente; generándose los correspondientes ficheros **RXXXXX.txt.** Estos ficheros generados, contienen:
    - Identificador de la disrupción no intencionada, que está siendo objeto de estudio.
    - Instante donde comienza el tramo de máxima pendiente.
    - Número de intervalos con el mismo signo para dicha pendiente máxima.
    - Una vez hayan sido obtenidos todos y cada uno de los ficheros **RXXXXX.txt** que forman la campaña objeto del análisis, habría que juntarlos y clasificarlos por orden creciente/decreciente de sus máximas pendientes. De esta manera, a la hora de analizar sus IMF's resultantes, se tendrían más cercanas las que tengan pendientes similares; y así poder encontrar características que determinen su comportamiento.
- Mediante la utilización de un programa Natural, de nombre **FR160230**, se

procede a la lectura de los ficheros **PXXXXX.txt** y sus correspondientes **RXXXXX.txt** generados en los procesos anteriores. De tal forma que de los ficheros **PXXXXX.txt** serían extraidos todos los registros existentes desde el instante inicial marcado en los ficheros **RXXXXX.txt** hasta el final del fichero **PXXXXX.txt** (instante en el que se produce la disrupción)**.** Realizadas las acciones anteriores, son generados los correspondientes ficheros **SXXXXX.txt**, con los registros extraidos.

- A partir de los ficheros **SXXXXX.txt** se intepolan, mediante splines, tantos pares tiempo-amplitud como sean necesarios hasta completar la cantidad de 1.024 muestras (objetivo de las pruebas). Para ello, la función Matlab ***Obtener_Datos_Descarga_3.m*** trataría los ficheros **SXXXXX.txt** que tienen formato de lectura **%g %g\n** para el instante y amplitud de la muestra respectivamente. Generándose el correspondiente fichero de nomenclatura **TXXXXX.txt** que contiene los datos de entrada con formato de salida **%.6f %.15f\n** para el instante y amplitud respectivamente.
- A partir de los ficheros de nomenclatura **TXXXXX.txt** se procede con el algoritmo, ya conocido de Hilbert-Huang, para la obtención de las correspondientes IMF's.

El proceso de tratamiento de las pendientes, se resume en Figura 12.2.

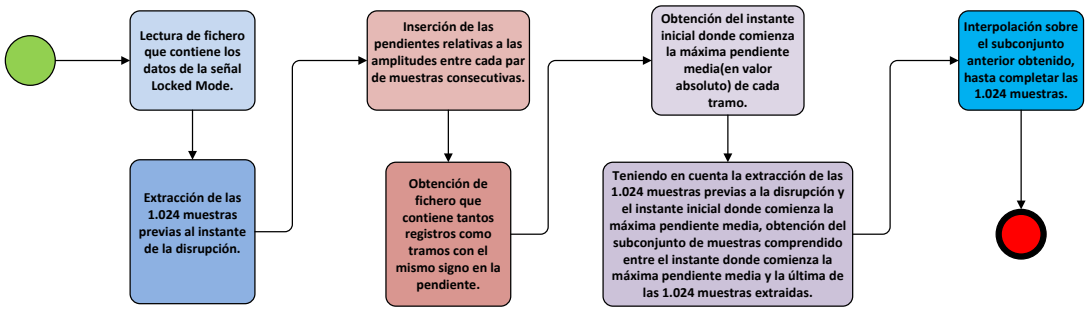


Figura 12.2. Proceso de obtención del instante de Máxima Pendiente Media.

Después de obtenida la descomposición de modo empírico [Norden 2005] para cada una de las descargas y teniendo en cuenta como instante inicial el que proporciona el criterio de máxima pendiente, se observó que los resultados no eran lo

suficientemente buenos. El instante en el que se producía el tramo de máxima pendiente media, tenía lugar en instantes demasiado próximos al instante de la disrupción. Por lo que, para seleccionar el instante de interés inicial, se descartó el criterio de máxima pendiente; optando por el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] (factor fuera de límite). Teniendo en cuenta un factor igual a 6, se han podido seleccionar 90 descargas de 100 posibles. Las 10 descargas restantes han sido descartadas, ya que el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] igual a 6 se produce en instantes muy próximos a la disrupción. Este hecho hace que no haya una capacidad de reacción con la suficiente anticipación para poder predecir el tipo de disrupción que se podría producir. Este Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] nos determina el instante en el que la señal se comporta de forma anómala. El Factor de Outlier elegido viene representado por:

$$Factor(i) = \left| \frac{Amplitud(i) - \ media \sum_{j=1}^{j=i-1} Amplitud(j)}{desviación\ estándar\ \sum_{j=1}^{j=i-1} Amplitud(j)} \right|$$

Donde han sido tenidos en cuenta los 1.024 instantes previos a la disrupción, siendo -i- un índice que varía entre 101 y 1.024. De esta forma, se obtienen 924 pares (tiempo, factor), siendo de interés para nuestro estudio el instante a partir del cual -factor- sea igual o superior a 6. Conocido dicho instante, de la señal Locked Mode original, se tomarán los pares (tiempo, amplitud) desde 20 muestras anteriores a dicho instante, hasta el momento en el que se produce la disrupción. Posteriormente y para seguir manejando 1.024 muestras, se realizará una interpolación hasta conseguir dicho número de muestras. De esta forma, pasaremos de muestrear 1.000 muestras/segundo a un valor superior. Por ejemplo, si Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] fuera igual o superior a 6 en el instante cuyo índice -i- es igual a 413; se pasaría de muestrear de 1.000 muestras/segundo a 2.000 muestras/segundo. Hay que tener en cuenta que en la matriz que trata el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] hay 924 pares de valores, y no los 1.024. De ahí que, si se diera el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] 6 en el índice 413, habría que tener en cuenta que los 100 instantes previos los hemos utilizado en la fórmula anterior. Por tanto, en los últimos 1.024 instantes extraidos previos a la

disrupción, tendría un índice igual a 513 (100 + 413). En Figura 12.3. se muestra el instante en el que se detecta el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] como precursor de la disrupción.

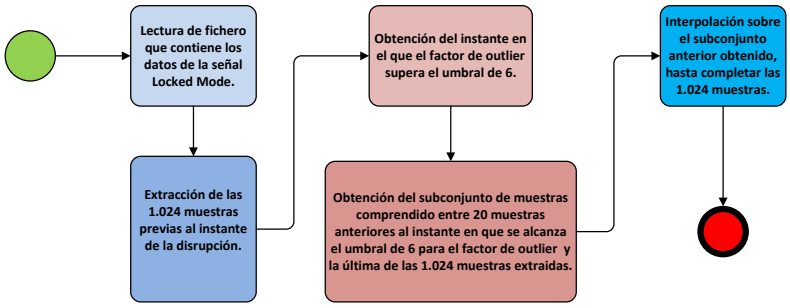


Figura 12.3. Proceso de obtención del instante en el que se detecta Factor de Outlier >= 6.

12.2. *Proceso Principal.*

En Figura 12.4. se da una visión global de la EMD.

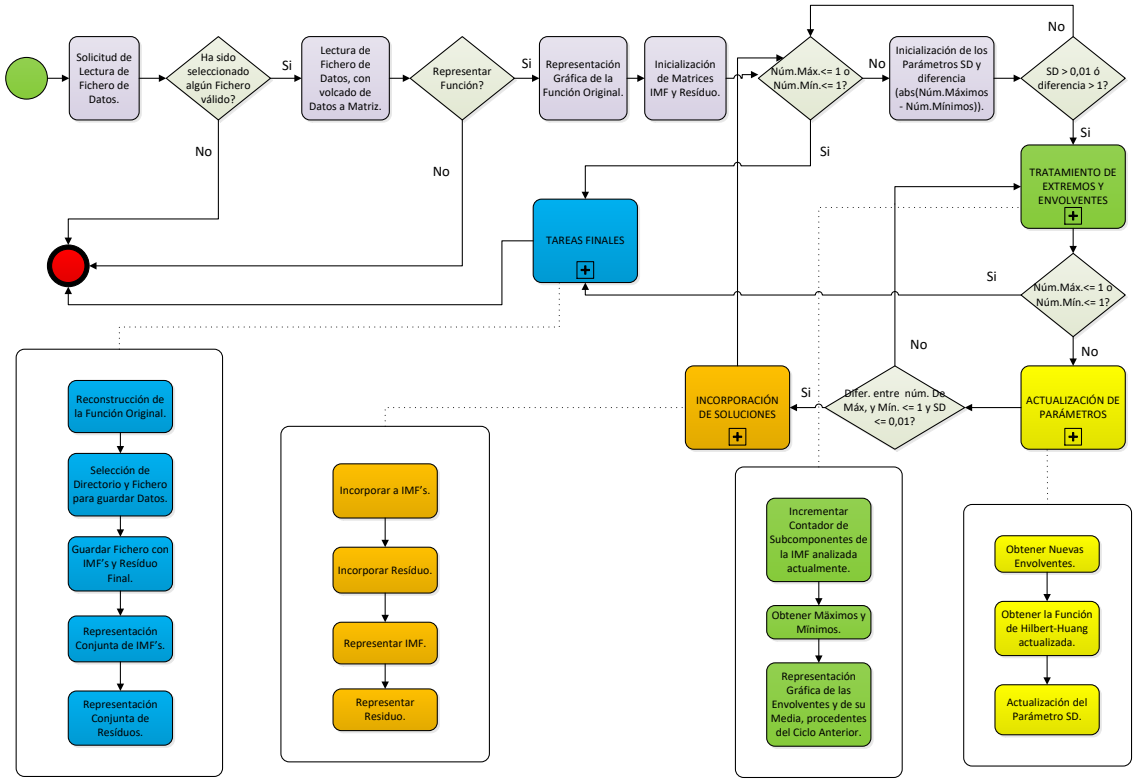


Figura 12.4. Proceso principal representativo de la Descomposición de Modo Empírico.

Este proceso va obteniendo las Funciones de Modo Intrínseco (IMF), hasta que el residuo resultante del filtrado de la función está formado por un solo máximo o por

un solo mínimo.

Se obtiene una IMF cuando un determinado parámetro (SD) alcanza cierto valor umbral o es inferior a él. También se tiene en cuenta que la diferencia entre el número de máximos y el número de mínimos (en valor absoluto), no exceda de la unidad. Para obtener cada IMF hay que considerar un número variable de iteraciones; teniendo en cuenta, en cada una de ellas, la actualización del parámetro SD así como la diferencia (en valor absoluto) del número de máximos y del número de mínimos.

A medida que se va obteniendo cada IMF, va resultando un residuo; sobre el que se va aplicando un proceso de filtrado hasta conseguir una nueva IMF. Al nuevo residuo se le sigue aplicando el proceso de filtrado, hasta conseguir la condición de PARADA del proceso; que se produce cuando el residuo resultante está formado por un solo máximo o por un solo mínimo.

12.3. *Obtener Máximos y Mínimos.*

El proceso de obtención de Máximo y Mínimos se puede ver en Figura 12.5.

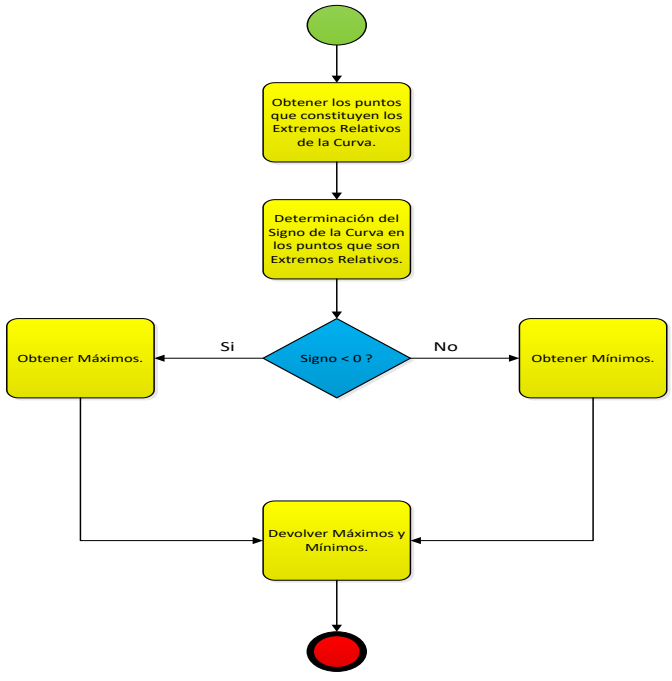


Figura 12.5. Proceso de obtención de Máximos y Minimos para el ciclo actual de procesamiento.

Esta función devuelve los puntos que constituyen los Máximos y Mínimos de la curva, para trazar posteriormente sus envolventes Superior e Inferior, respectivamente.

12.4. *Obtener Envolventes.*

En Figura 12.6. se muestra el proceso de obtención de las envolventes.

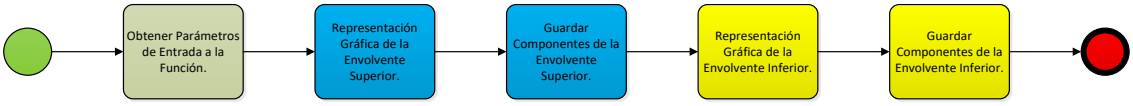


Figura 12.6. Proceso de obtención de la envovente superior e inferior en el ciclo actual de procesamiento.

Con los parámetros recibidos, y haciendo uso de la función 'spline' de Matlab, se obtienen las envolventes Superior e Inferior; teniendo en cuenta todos los puntos que forman el intervalo donde se definió originalmente la función. Además, son devueltos a la aplicación otros parámetros, que serán utilizados como entrada para otras funciones que componen el proyecto.

12.5. *Obtener Función de Hilbert-Huang actualizada.*

El proceso de obtención de la función actualizada después de tener en cuenta la función del ciclo anterior y la media de las envolventes del ciclo actual, se puede ver en Figura 12.7.

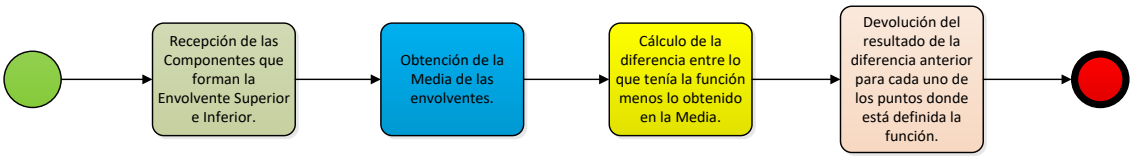


Figura 12.7. Proceso de obtención de la nueva función en el ciclo actual de procesamiento.

Con los parámetros recibidos, y haciendo uso de la función 'spline' de Matlab, se obtiene la MEDIA de las envolventes Superior e Inferior; teniendo en cuenta todos los puntos que forman el intervalo donde se definió originalmente la función. Además, son devueltos a la aplicación otros parámetros, que serán utilizados como entrada para otras funciones que componen el proyecto.

12.6. Representación de la Función Original.

En Figura 12.8. se muestra la secuencia para representar la función original.

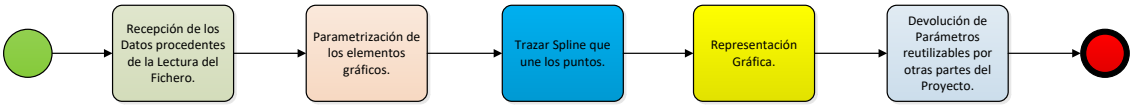


Figura 12.8. Proceso de obtención de la gráfica para las 1.024 muestras previas a la disrupción.

Obtiene la representación gráfica de los valores contenidos en el fichero de lectura.

12.7. Representación de la Media de las Envolventes.

Obenidas la envolvente superior e inferior y calculada la media de ambas, se procede a la representación de la media entre ambas según Figura 12.9.

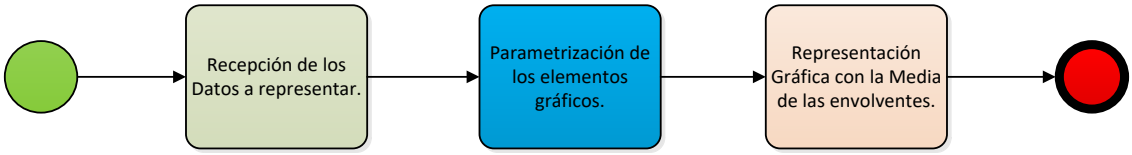


Figura 12.9. Proceso de obtención de la gráfica para la media entre la envolvente superior e inferior.

Para cada uno de los sub-ciclos que constituyen el filtrado y obtención de cada IMF, se ofrece una representación de cómo va evolucionando la media de las envolventes a medida que se van actualizando los parámetros de control del bucle; entre los que se encuentra el parámetro SD.

12.8. Representación de cada IMF (Función de Modo Intrínseco).

Una vez hallado el criterio de convergencia y obtenida la IMF correspondiente se procede a su representación según Figura 12.10.

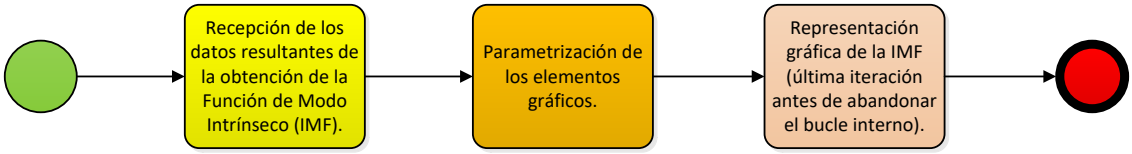


Figura 12.10. Proceso de obtención de la gráfica para cada IMF que se va obteniendo en la EMD.

A medida que el proceso de filtrado va proporcionando cada IMF, se va realizando su correspondiente representación gráfica.

12.9. *Representación del Residuo.*

Después de obtener cada IMF y el nuevo residuo resultante, se representa gráficamente este último; según Figura 12.11.

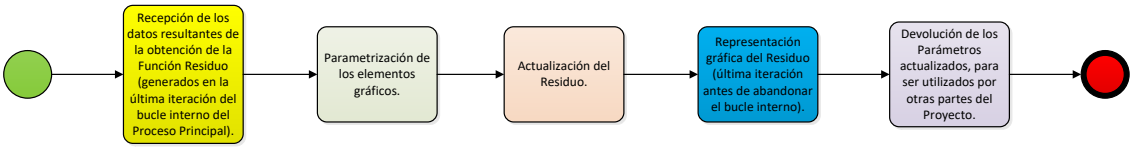


Figura 12.11. Proceso de obtención de la gráfica para cada residuo que se va obteniendo en la EMD.

12.10. *Reconstrucción y Representación de la Función Original.*

Teniendo en cuenta los datos para cada una de las IMF obtenidas, así como los datos obtenidos para el último residuo; se procede a la reconstrucción de la función original. Dando, además, una representación gráfica de la misma. Esta funcionalidad de la aplicación constituye un punto de verificación de la aplicación, indicando si lo realizado es coherente con lo que se pretende obtener. Vease Figura 12.12.

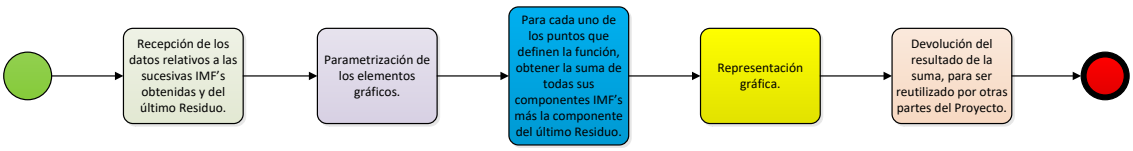


Figura 12.12. Proceso de reconstrucción de la función original según IMFs y último residuo obtenidos.

12.11. *Representación Conjunta de las IMF's.*

Se produce la recopilación de los valores obtenidos para cada IMF, procediendo a su representación gráfica. La representación gráfica ofrece la evolución de las IMF's desde las frecuencias mayores hasta las frecuencias menores. El proceso de dicha representación se halla resumido en Figura 12.13.

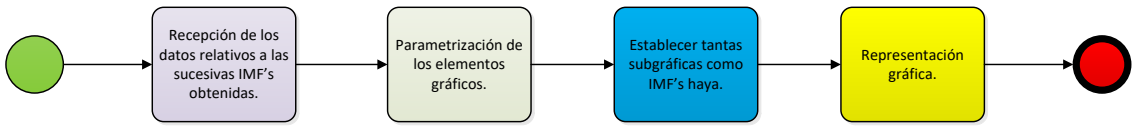


Figura 12.13. Proceso de obtención de todas las gráficas de las IMFs obtenidas a modo de resumen.

12.12. *Representación Conjunta de los Residuos.*

En Figura 12.14 se recoge el proceso de representación gráfica que ofrece la evolución de los residuos según se han ido obteniendo las sucesivas IMF's.

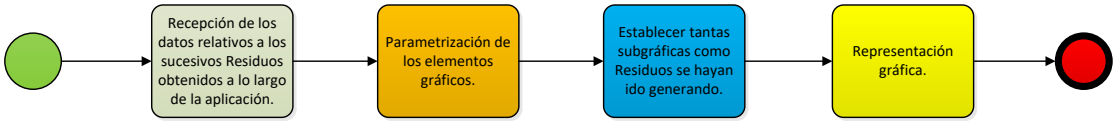


Figura 12.14. Proceso de obtención de todas las gráficas de los residuos obtenidos a modo de resumen.

12.13. *Obtener Espectrograma de los Datos Originales.*

De la misma forma que han sido representadas las amplitudes frente al tiempo, se pretende obtener una representación gráfica de las frecuencias frente al tiempo. En este caso la frecuencia de muestreo elegida es la original de 1.000 muestras por segundo. La secuencia del proceso se puede vern en Figura 12.15.

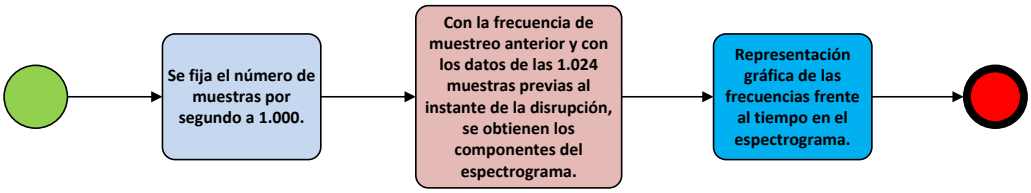


Figura 12.15. Proceso de obtención del espectrograma para las 1.024 muestras previas al instante de la disrupción.

12.14. *Obtener Espectrograma de los Datos Interpolados.*

Si en el caso anterior se tenían 1.000 muestras por segundo, en este caso el número de muestras por segundo aumentará; ya que se ha producido una interpolación entre los instantes inicial y final. Esa frecuencia de muestreo variará para cada una de las descargas, dependiendo de donde se haya alcanzado el Factor de Outlier [Url7] [Url9] [Url11] con valor umbral 6. Vease secuencia del proceso en Figura 12.16.

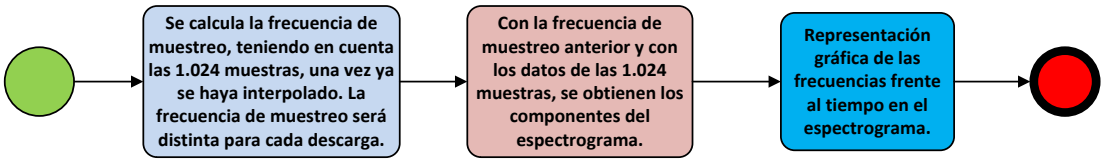


Figura 12.16. Proceso de obtención del espectrograma para el conjunto de datos interpolado.

12.15. *Obtener Espectrograma Conjunto de las IMF's Resultantes.*

Dado que las IMF's obtenidas son generadas en función de los datos ya interpolados hasta alcanzar las 1.024 muestras, el cálculo de la frecuencia de muestreo para cada descarga en las IMF's, se realiza de la misma forma que en el caso de la obtención del espectrograma con los datos interpolados. En este caso el espectrograma estará dividido en tantas secciones como IMF's resulten de la descomposición de modo empírico [Norden 2005]. En Figura 12.17. se ofrece una visión para la obtención de este tipo de espectrograma.

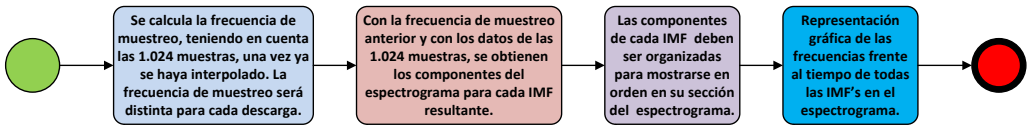


Figura 12.17. Proceso de obtención de los espectrogramas para el conjunto de las IMFs obtenidas.

12.16. *Separar IMF's.*

En el proceso de Reconstrucción y Representación de la Función Original, de forma opcional, se pueden guardar en un fichero de 1.024 registros las siguientes columnas:

- Instante de tiempo considerado.
- Amplitud de cada IMF obtenida con respecto al tiempo anterior. Habrá tantas columnas como IMF's resulten de la descomposición.
- Amplitud del último residuo obtenido.

Como nuestro objetivo para la clasificación es el de tomar la primera IMF, ya que es la que contiene las frecuencias más altas; con el proceso de separación de IMF's (guardadas de forma conjunta en el proceso de Reconstrucción y Representación de la Función Original), no sólo obtenemos de forma separada la primera de las IMF's; sino que se obtienen tantos ficheros como número de IMF's haya. En cada uno de ellos serán encontrados 1.024 pares (tiempo, amplitud). Se recoge la secuencia de acciones en Figura 12.18.

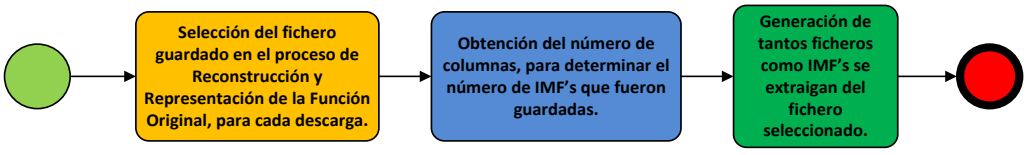


Figura 12.18. Proceso de separación de los datos. Se forman tantos conjuntos de datos como número de IMFs haya.

12.17. *Obtener Datos a Clasificar.*

Ha sido necesario establecer un patrón en la nomenclatura de los ficheros a seleccionar, para hacer que este proceso resulte automático. En Figura 12.19. se recoge la secuencia para dicha función.

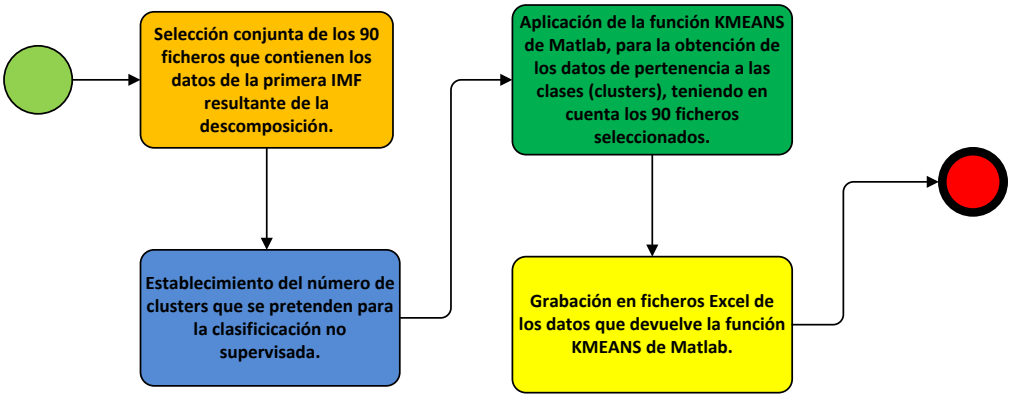


Figura 12.19. Proceso de carga de datos en los distintos tipos de clasificadores.

13. Anexo B. Código fuente empleado en la implementación de la aplicación.

Se presenta, a continuación, el código fuente desarrollado; para dar soporte al Trabajo de Fin de Máster.

Nota : Se mantienen las líneas de código comentadas (precedidas del símbolo %), para dar idea de cómo evolucionó cada función a medida que se iban encontrando alternativas mejores de implementación. *Indicar, además, que cualquier línea en color verde que proceda de un saldo de línea, no será parte del código; sino parte de un comentario acerca de dicho código.*

1 HH

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% SE TRATA DEL PROCEDIMIENTO PRINCIPAL DE LA EMD (DESCOMPOSICIÓN DE MODO   %
% EMPÍRICO).                                                               %
%--------------------------------------------------------------------------%

function HH()

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

format short e;

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

[fichero, ruta] = uigetfile( ...
{'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
 'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

if isequal(fichero,0)
   warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
else
   fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
   fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
```

```
   formato = '%f\t %f\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
   dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
   Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
   fclose(fichero_lectura);
   Entrada_Datos = Entrada_Datos'; % Transposición matriz a [Inf 2].
   [m, n] = size(Entrada_Datos);   % Captura las dimensiones de la matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
       respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
       respuesta = 0;
    end

   funcion = fichero_seleccionado;

   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.
       [xx, yy, x_ini, y_ini, yy_ini] = Representar_Funcion_Original(Entrada_Datos,
funcion);

        h_ant = [];
        h_ant(:,1) = xx;
        h_ant(:,2) = yy;

        C = []; % Representa la matriz de funciones de modo intrínseco (imf).
        R = []; % Representa los sucesivos resíduos que resultan después de obtener cada
imf.

        contador_imf = 0;

        while(1) % La salida del bucle se condicionará con -break-. En cada ciclo del
bucle,
                 % se localizará una nueva Función de Modo Intrinseca.

            SD = Inf;    % Se inicializa a INFINITO.
            diferencia = Inf;
            contador_subimf = 0;

            while (SD > 0.01 | diferencia > 1)
      %      while (SD > 0.0001 | diferencia > 1)     % FHM 20.11.2015.
      %      while (SD > 0.00001 | diferencia > 1)    % FHM 07.01.2016.
               contador_subimf = contador_subimf + 1;
               [Maximos, Minimos] = Obtener_Maximos_Minimos(xx,yy);

               [filas_Max, columnas_Max] = size(Maximos);
               [filas_Min, columnas_Min] = size(Minimos);
               diferencia = abs(filas_Max - filas_Min);

     %  Representar_Envolventes_Media(xx, yy, contador_imf, contador_subimf); % <FHM
16.06.2015>

               if filas_Max <= 1 || filas_Min <= 1 % Condición de PARADA.
                   break;
               end

               [es_componentes, ei_componentes] = Obtener_Envolventes(Maximos, Minimos,
min(x_ini), max(x_ini), yy, x_ini);
               h = Obtener_Hilbert_Huang_Actualizada(h_ant, yy, es_componentes,
ei_componentes, x_ini);

               SD = sum((h_ant(:,2) - h(:,2)).^2)/sum(h_ant(:,2).^2);

               xx = h(:,1)'; % Trasposición para el eje de abscisas.
               yy = h(:,2)'; % Trasposición para el eje de ordenadas.
               h_ant = h;
```

```
            end

            if diferencia <= 1
                contador_imf = contador_imf + 1;
                C(:,contador_imf) = yy; % Nos da la posición, y la añadimos al nuevo
modo encontrado.

                Representar_IMF(h, contador_imf, xx, yy);

                [r, Resto, yy, yy_ini] = Representar_Residuo(h, contador_imf, yy_ini,
xx, yy);

                R(:,contador_imf) = r; % Nos da la posición, y la añadimos el nuevo
resíduo encontrado.

            else
                continue; % No existe función de modo para la iteración actual.
            end

            if filas_Max <= 1 || filas_Min <= 1 % Condición de PARADA.
                break;
            end
    end

    [imfx, imfy] = size(C);
    residuo = length(Resto);

    z = Reconstruir_Funcion_Original(Entrada_Datos, Resto, imfy, C, xx);

    % --- Solicitud para guardar datos en fichero de texto --- inicio ---

    [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

    if isequal(fichero,0)
       warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
    else
       fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
       fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
       for i=1:imfx
           for j=1:imfy
              % fprintf(fi,'%f\t',C(i,j));   % FHM 11.03.2016
              fprintf(fi,'%+.15f ',C(i,j));
           end
           % fprintf(fi, '%f\t %f\t\n',Resto(i),z(i));  % FHM 11.03.2016
           fprintf(fi, '%+.15f %+.15f %+.15f\n',Resto(i),z(i),xx(i));
       end

       fclose(fi);
       linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
       linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
       warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
    end

     % --- Solicitud para guardar datos en fichero de texto --- fin ---

    Representacion_Conjunta_IMFs(Entrada_Datos, contador_imf, imfy, xx, C);

    Representacion_Conjunta_Residuos(Entrada_Datos, contador_imf, imfy, xx, R);
  end
  clc;

end
```

2 Inicio_Aplicacion_3_100

```
%-------------------------------------------------------------------------%
```

```
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% GENERACIÓN DE UN CONJUNTO DE DATOS DE PRUEBA CON FRECUENCIA DE MUESTREO %
% DE 200 MUESTRAS POR SEGUNDO Y PARA 3 FRECUENCIAS DIFERENTES CONOCIDAS.  %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Inicio_Aplicacion_3_100()

% Si se pulsa -OK- en el siguiente diálogo, se recogen los datos
% introducidos. El 'numero_coeficientes ~= 0'.
% Si se pulsa -Cancel- en el siguiente diálogo, no se devolverá ningún
% valor a 'coeficientes'. Por lo que 'numero_coeficientes = 0'.

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
format longEng;

coeficientes = inputdlg({'Amplitud_1','Frecuencia_1','Amplitud_2','Frecuencia_2', ...
              'Amplitud_3','Frecuencia_3','Amplitud_4'},...
              'Introducción de Coeficientes'...
              , [1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50]);


numero_coeficientes = length(coeficientes);
%disp(numero_coeficientes);

if numero_coeficientes ~= 0
    A1 = str2double(coeficientes{1});
    if isnan(A1)
        A1 = 0;
    end
    F1 = str2double(coeficientes{2});
    if isnan(F1)
        F1 = 0;
    end
    A2 = str2double(coeficientes{3});
    if isnan(A2)
        A2 = 0;
    end
    F2 = str2double(coeficientes{4});
    if isnan(F2)
        F2 = 0;
    end
    A3 = str2double(coeficientes{5});
    if isnan(A3)
        A3 = 0;
    end
    F3 = str2double(coeficientes{6});
    if isnan(F3)
        F3 = 0;
    end
    A4 = str2double(coeficientes{7});
    if isnan(A4)
        A4 = 0;
    end

% ------------------------------------------------------------------------
% El siguiente código se utilizará por si queremos poner algún texto
% indicando cuáles han sido los coeficientes proporcionados en la entrada.
% ------------------------------------------------------------------------
%
    A_1 = num2str(A1);
    F_1 = num2str(F1);
    A_2 = num2str(A2);
    F_2 = num2str(F2);
```

```
    A_3 = num2str(A3);
    F_3 = num2str(F3);
    A_4 = num2str(A4);

    fecha_hora = now;
    f_h = datestr(fecha_hora);

    funcion = strcat(f_h, '--> x(t) = ', A_1,'*sin(2*pi*',F_1,'*t)+ '...
        ,A_2,'*sin(2*pi*',F_2,'*t)+ '...
        ,A_3,'*sin(2*pi*',F_3,'*t)+ '...
        ,A_4,'*t');

% ------------------------------------------------------------------------
%       FIN para texto informativo de la entrada de coeficientes.
% ------------------------------------------------------------------------

    entrada = [];  % Inicialización de matriz que recibe los datos.
    i = 0;

    for t=0:0.005:1.995
        i = i + 1;
        p = A1*sin(2*pi*F1*t)+A2*sin(2*pi*F2*t)+A3*sin(2*pi*F3*t)+A4*t;
        entrada(i,1) = t;
        entrada(i,2) = p;
    end
    [m,n] = size(entrada);  % -m- representa número de filas de la matriz.
                            % -n- representa número de columnas de matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
       respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
       respuesta = 0;
    end

   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.

       Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con
pantalla maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función Inicial',...               % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                  % No muestra
ningún número.
            'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.


        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [-inf inf],...
            'YLim', [-inf inf],...
            'XLimMode', 'auto',...
            'YLimMode', 'auto');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Posición','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
        hold(Ejes, 'all');

        x = entrada(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = entrada(:,2); % Recoge el valor de la función en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.
        xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini); % Recoge los puntos límite entre
intervalos según el instante.
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx);   % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.
```

```
            plot(xx,yy,'b');
        end

    [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

    if isequal(fichero,0)
         % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
         warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
    else
         fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
         %disp(fichero_seleccionado);
         fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
         for k=1:m
             fprintf(fi,'%.10e\t %.15e\n', entrada(k,1),entrada(k,2));
         end
         fclose(fi);
         linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
         linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
         warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
    end

end
```

3 Inicio_Aplicacion_3_10000

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% GENERACIÓN DE UN CONJUNTO DE DATOS DE PRUEBA CON FRECUENCIA DE MUESTREO %
% DE 20.000 MUESTRAS POR SEGUNDO Y PARA 3 FRECUENCIAS DIFERENTES CONOCIDAS%
%-------------------------------------------------------------------------%

function Inicio_Aplicacion_3_10000()

% Si se pulsa -OK- en el siguiente diálogo, se recogen los datos
% introducidos. El 'numero_coeficientes ~= 0'.
% Si se pulsa -Cancel- en el siguiente diálogo, no se devolverá ningún
% valor a 'coeficientes'. Por lo que 'numero_coeficientes = 0'.

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
format longEng;

coeficientes = inputdlg({'Amplitud_1','Frecuencia_1','Amplitud_2','Frecuencia_2', ...
              'Amplitud_3','Frecuencia_3','Amplitud_4'},...
              'Introducción de Coeficientes'...
              , [1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50]);

numero_coeficientes = length(coeficientes);
%disp(numero_coeficientes);

if numero_coeficientes ~= 0
    A1 = str2double(coeficientes{1});
    if isnan(A1)
        A1 = 0;
    end
    F1 = str2double(coeficientes{2});
    if isnan(F1)
```

```
        F1 = 0;
    end
    A2 = str2double(coeficientes{3});
    if isnan(A2)
        A2 = 0;
    end
    F2 = str2double(coeficientes{4});
    if isnan(F2)
        F2 = 0;
    end
    A3 = str2double(coeficientes{5});
    if isnan(A3)
        A3 = 0;
    end
    F3 = str2double(coeficientes{6});
    if isnan(F3)
        F3 = 0;
    end
    A4 = str2double(coeficientes{7});
    if isnan(A4)
        A4 = 0;
    end

% ------------------------------------------------------------------------
% El siguiente código se utilizará por si queremos poner algún texto
% indicando cuáles han sido los coeficientes proporcionados en la entrada.
% ------------------------------------------------------------------------
%
    A_1 = num2str(A1);
    F_1 = num2str(F1);
    A_2 = num2str(A2);
    F_2 = num2str(F2);
    A_3 = num2str(A3);
    F_3 = num2str(F3);
    A_4 = num2str(A4);

    fecha_hora = now;
    f_h = datestr(fecha_hora);

    funcion = strcat(f_h, '--> x(t) = ', A_1,'*sin(2*pi*',F_1,'*t)+ '...
        ,A_2,'*sin(2*pi*',F_2,'*t)+ '...
        ,A_3,'*sin(2*pi*',F_3,'*t)+ '...
        ,A_4,'*t');

% ------------------------------------------------------------------------
%       FIN para texto informativo de la entrada de coeficientes.
% ------------------------------------------------------------------------

    entrada = [];  % Inicialización de matriz que recibe los datos.
    i = 0;

  %  for t=0:0.005:1.995                % FHM 05.11.2015.
    for t=0:0.00005:1.99995             % FHM 05.11.2015.
        i = i + 1;
        p = A1*sin(2*pi*F1*t)+A2*sin(2*pi*F2*t)+A3*sin(2*pi*F3*t)+A4*t;
        entrada(i,1) = t;
        entrada(i,2) = p;
    end
    [m,n] = size(entrada);  % -m- representa número de filas de la matriz.
                            % -n- representa número de columnas de matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
       respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
       respuesta = 0;
    end
```

```
   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.

        Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...    % Con
pantalla maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función Inicial',...             % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                % No muestra ningún
número.
            'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [-inf inf],...
            'YLim', [-inf inf],...
            'XLimMode', 'auto',...
            'YLimMode', 'auto');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Posición','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
        hold(Ejes, 'all');

        x = entrada(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = entrada(:,2); % Recoge el valor de la función en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.
     %   xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini); % Recoge los puntos límite entre
intervalos según el instante.
        xx = x_ini;                             % FHM 05.11.2015.
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx);   % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.

        plot(xx,yy,'b');

   end

   [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
        fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
        for k=1:m
            fprintf(fi,'%.10e\t %.15e\n', entrada(k,1),entrada(k,2));
        end
        fclose(fi);
        linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
        linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
        warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

end
```

4 Inicio_Aplicacion_6_100

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
```

```
% GENERACIÓN DE UN CONJUNTO DE DATOS DE PRUEBA CON FRECUENCIA DE MUESTREO %
% DE 200 MUESTRAS POR SEGUNDO Y PARA 6 FRECUENCIAS DIFERENTES CONOCIDAS.  %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Inicio_Aplicacion_6_100()

% Si se pulsa -OK- en el siguiente diálogo, se recogen los datos
% introducidos. El 'numero_coeficientes ~= 0'.
% Si se pulsa -Cancel- en el siguiente diálogo, no se devolverá ningún
% valor a 'coeficientes'. Por lo que 'numero_coeficientes = 0'.

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
format longEng;

coeficientes = inputdlg({'Amplitud_1','Frecuencia_1','Amplitud_2','Frecuencia_2', ...
              'Amplitud_3','Frecuencia_3','Amplitud_4','Frecuencia_4', ...
              'Amplitud_5','Frecuencia_5','Amplitud_6','Frecuencia_6', ...
              'Amplitud_7'},...
              'Introducción de Coeficientes'...
              , [1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20;
1 50]);

numero_coeficientes = length(coeficientes);
%disp(numero_coeficientes);

if numero_coeficientes ~= 0
    A1 = str2double(coeficientes{1});
    if isnan(A1)
        A1 = 0;
    end
    F1 = str2double(coeficientes{2});
    if isnan(F1)
        F1 = 0;
    end
    A2 = str2double(coeficientes{3});
    if isnan(A2)
        A2 = 0;
    end
    F2 = str2double(coeficientes{4});
    if isnan(F2)
        F2 = 0;
    end
    A3 = str2double(coeficientes{5});
    if isnan(A3)
        A3 = 0;
    end
    F3 = str2double(coeficientes{6});
    if isnan(F3)
        F3 = 0;
    end
    A4 = str2double(coeficientes{7});
    if isnan(A4)
        A4 = 0;
    end
    F4 = str2double(coeficientes{8});
    if isnan(F4)
        F4 = 0;
    end
    A5 = str2double(coeficientes{9});
    if isnan(A5)
        A5 = 0;
    end
    F5 = str2double(coeficientes{10});
    if isnan(F5)
        F5 = 0;
    end
    A6 = str2double(coeficientes{11});
```

```
    if isnan(A6)
        A6 = 0;
    end
    F6 = str2double(coeficientes{12});
    if isnan(F6)
        F6 = 0;
    end
    A7 = str2double(coeficientes{13});
    if isnan(A7)
        A7 = 0;
    end

% ------------------------------------------------------------------------
% El siguiente código se utilizará por si queremos poner algún texto
% indicando cuáles han sido los coeficientes proporcionados en la entrada.
% ------------------------------------------------------------------------
%
    A_1 = num2str(A1);
    F_1 = num2str(F1);
    A_2 = num2str(A2);
    F_2 = num2str(F2);
    A_3 = num2str(A3);
    F_3 = num2str(F3);
    A_4 = num2str(A4);
    F_4 = num2str(F4);
    A_5 = num2str(A5);
    F_5 = num2str(F5);
    A_6 = num2str(A6);
    F_6 = num2str(F6);
    A_7 = num2str(A7);


    fecha_hora = now;
    f_h = datestr(fecha_hora);

    funcion = strcat(f_h, '--> x(t) = ', A_1,'*sin(2*pi*',F_1,'*t)+ '...
        ,A_2,'*sin(2*pi*',F_2,'*t)+ '...
        ,A_3,'*sin(2*pi*',F_3,'*t)+ '...
        ,A_4,'*sin(2*pi*',F_4,'*t)+ '...
        ,A_5,'*sin(2*pi*',F_5,'*t)+ '...
        ,A_6,'*sin(2*pi*',F_6,'*t)+ '...
        ,A_7,'*t');

% ------------------------------------------------------------------------
%       FIN para texto informativo de la entrada de coeficientes.
% ------------------------------------------------------------------------

    entrada = [];  % Inicialización de matriz que recibe los datos.
    i = 0;

    for t=0:0.005:1.995
        i = i + 1;
        p = A1*sin(2*pi*F1*t)+A2*sin(2*pi*F2*t)+A3*sin(2*pi*F3*t)+ ...
            A4*sin(2*pi*F4*t)+A5*sin(2*pi*F5*t)+A6*sin(2*pi*F6*t)+ ...
            A7*t;
        entrada(i,1) = t;
        entrada(i,2) = p;
    end
    [m,n] = size(entrada);  % -m- representa número de filas de la matriz.
                            % -n- representa número de columnas de matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
       respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
       respuesta = 0;
    end
```

```
   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.

        Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...    % Con
pantalla maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función Inicial',...              % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                 % No muestra ningún
número.
            'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [-inf inf],...
            'YLim', [-inf inf],...
            'XLimMode', 'auto',...
            'YLimMode', 'auto');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Posición','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',10);
        hold(Ejes, 'all');

        x = entrada(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = entrada(:,2); % Recoge el valor de la función en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.
        xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini); % Recoge los puntos límite entre
intervalos según el instante.
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx);    % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.


        plot(xx,yy,'b');

   end

   [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
        fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
        for k=1:m
            fprintf(fi,'%.10e\t %.15e\n', entrada(k,1),entrada(k,2));
        end
        fclose(fi);
        linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
        linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
        warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

end
```

5 Inicio_Aplicacion_6_10000

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
```

```
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% GENERACIÓN DE UN CONJUNTO DE DATOS DE PRUEBA CON FRECUENCIA DE MUESTREO %
% DE 20.000 MUESTRAS POR SEGUNDO Y PARA 6 FRECUENCIAS DIFERENTES CONOCIDAS%
%-------------------------------------------------------------------------%

function Inicio_Aplicacion_6_10000()

% Si se pulsa -OK- en el siguiente diálogo, se recogen los datos
% introducidos. El 'numero_coeficientes ~= 0'.
% Si se pulsa -Cancel- en el siguiente diálogo, no se devolverá ningún
% valor a 'coeficientes'. Por lo que 'numero_coeficientes = 0'.

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
format longEng;

coeficientes = inputdlg({'Amplitud_1','Frecuencia_1','Amplitud_2','Frecuencia_2', ...
              'Amplitud_3','Frecuencia_3','Amplitud_4','Frecuencia_4', ...
              'Amplitud_5','Frecuencia_5','Amplitud_6','Frecuencia_6', ...
              'Amplitud_7'},...
              'Introducción de Coeficientes'...
              , [1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20;
1 50]);

numero_coeficientes = length(coeficientes);
%disp(numero_coeficientes);

if numero_coeficientes ~= 0
    A1 = str2double(coeficientes{1});
    if isnan(A1)
        A1 = 0;
    end
    F1 = str2double(coeficientes{2});
    if isnan(F1)
        F1 = 0;
    end
    A2 = str2double(coeficientes{3});
    if isnan(A2)
        A2 = 0;
    end
    F2 = str2double(coeficientes{4});
    if isnan(F2)
        F2 = 0;
    end
    A3 = str2double(coeficientes{5});
    if isnan(A3)
        A3 = 0;
    end
    F3 = str2double(coeficientes{6});
    if isnan(F3)
        F3 = 0;
    end
    A4 = str2double(coeficientes{7});
    if isnan(A4)
        A4 = 0;
    end
    F4 = str2double(coeficientes{8});
    if isnan(F4)
        F4 = 0;
    end
    A5 = str2double(coeficientes{9});
    if isnan(A5)
        A5 = 0;
    end
    F5 = str2double(coeficientes{10});
```

```
    if isnan(F5)
        F5 = 0;
    end
    A6 = str2double(coeficientes{11});
    if isnan(A6)
        A6 = 0;
    end
    F6 = str2double(coeficientes{12});
    if isnan(F6)
        F6 = 0;
    end
    A7 = str2double(coeficientes{13});
    if isnan(A7)
        A7 = 0;
    end

% ------------------------------------------------------------------------
% El siguiente código se utilizará por si queremos poner algún texto
% indicando cuáles han sido los coeficientes proporcionados en la entrada.
% ------------------------------------------------------------------------
%
    A_1 = num2str(A1);
    F_1 = num2str(F1);
    A_2 = num2str(A2);
    F_2 = num2str(F2);
    A_3 = num2str(A3);
    F_3 = num2str(F3);
    A_4 = num2str(A4);
    F_4 = num2str(F4);
    A_5 = num2str(A5);
    F_5 = num2str(F5);
    A_6 = num2str(A6);
    F_6 = num2str(F6);
    A_7 = num2str(A7);


    fecha_hora = now;
    f_h = datestr(fecha_hora);

    funcion = strcat(f_h, '--> x(t) = ', A_1,'*sin(2*pi*',F_1,'*t)+ '...
        ,A_2,'*sin(2*pi*',F_2,'*t)+ '...
        ,A_3,'*sin(2*pi*',F_3,'*t)+ '...
        ,A_4,'*sin(2*pi*',F_4,'*t)+ '...
        ,A_5,'*sin(2*pi*',F_5,'*t)+ '...
        ,A_6,'*sin(2*pi*',F_6,'*t)+ '...
        ,A_7,'*t');

% ------------------------------------------------------------------------
%       FIN para texto informativo de la entrada de coeficientes.
% ------------------------------------------------------------------------

    entrada = [];  % Inicialización de matriz que recibe los datos.
    i = 0;

    for t=0:0.00005:1.99995
        i = i + 1;
        p = A1*sin(2*pi*F1*t)+A2*sin(2*pi*F2*t)+A3*sin(2*pi*F3*t)+ ...
            A4*sin(2*pi*F4*t)+A5*sin(2*pi*F5*t)+A6*sin(2*pi*F6*t)+ ...
            A7*t;
        entrada(i,1) = t;
        entrada(i,2) = p;
    end
    [m,n] = size(entrada);  % -m- representa número de filas de la matriz.
                            % -n- representa número de columnas de matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
```

```
        respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
        respuesta = 0;
    end

   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.

        Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...    % Con
pantalla maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función Inicial',...              % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                 % No muestra ningún
número.
            'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [-inf inf],...
            'YLim', [-inf inf],...
            'XLimMode', 'auto',...
            'YLimMode', 'auto');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Posición','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',10);
        hold(Ejes, 'all');

        x = entrada(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = entrada(:,2); % Recoge el valor de la función en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.
      %  xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini); % Recoge los puntos límite entre
intervalos según el instante.
        xx = x_ini;                          % FHM 20.11.2015.
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx);   % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.

        plot(xx,yy,'b');

   end

   [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
        fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
        for k=1:m
            fprintf(fi,'%.10e\t %.15e\n', entrada(k,1),entrada(k,2));
        end
        fclose(fi);
        linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
        linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
        warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

end
```

6 Inicio_Aplicacion_Espectrograma_3

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% CREACIÓN DE UN CONJUNTO DE DATOS DE PRUEBA CON TRES FRECUENCIAS          %
% CONOCIDAS DIFERENTES, Y SU POSTERIOR OBTENCIÓN DEL ESPECTROGRAMA.        %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Inicio_Aplicacion_Espectrograma_3()

% Si se pulsa -OK- en el siguiente diálogo, se recogen los datos
% introducidos. El 'numero_coeficientes ~= 0'.
% Si se pulsa -Cancel- en el siguiente diálogo, no se devolverá ningún
% valor a 'coeficientes'. Por lo que 'numero_coeficientes = 0'.

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
format longEng;

coeficientes = inputdlg({'Amplitud_1','Frecuencia_1','Amplitud_2','Frecuencia_2', ...
              'Amplitud_3','Frecuencia_3','Amplitud_4'},...
              'Introducción de Coeficientes'...
              , [1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50]);

numero_coeficientes = length(coeficientes);
%disp(numero_coeficientes);

if numero_coeficientes ~= 0
    A1 = str2double(coeficientes{1});
    if isnan(A1)
        A1 = 0;
    end
    F1 = str2double(coeficientes{2});
    if isnan(F1)
        F1 = 0;
    end
    A2 = str2double(coeficientes{3});
    if isnan(A2)
        A2 = 0;
    end
    F2 = str2double(coeficientes{4});
    if isnan(F2)
        F2 = 0;
    end
    A3 = str2double(coeficientes{5});
    if isnan(A3)
        A3 = 0;
    end
    F3 = str2double(coeficientes{6});
    if isnan(F3)
        F3 = 0;
    end
    A4 = str2double(coeficientes{7});
    if isnan(A4)
        A4 = 0;
    end

% ------------------------------------------------------------------------
% El siguiente código se utilizará por si queremos poner algún texto
% indicando cuáles han sido los coeficientes proporcionados en la entrada.
% ------------------------------------------------------------------------
%
```

```
    A_1 = num2str(A1);
    F_1 = num2str(F1);
    A_2 = num2str(A2);
    F_2 = num2str(F2);
    A_3 = num2str(A3);
    F_3 = num2str(F3);
    A_4 = num2str(A4);

    fecha_hora = now;
    f_h = datestr(fecha_hora);

    funcion = strcat(f_h, '--> x(t) = ', A_1,'*sin(2*pi*',F_1,'*t)+ '...
        ,A_2,'*sin(2*pi*',F_2,'*t)+ '...
        ,A_3,'*sin(2*pi*',F_3,'*t)+ '...
        ,A_4,'*t');

% ------------------------------------------------------------------------
%       FIN para texto informativo de la entrada de coeficientes.
% ------------------------------------------------------------------------

    entrada = [];  % Inicialización de matriz que recibe los datos.
    i = 0;

    for t=0:0.001:0.999
        i = i + 1;
        p = A1*sin(2*pi*F1*t)+A2*sin(2*pi*F2*t)+A3*sin(2*pi*F3*t)+A4*t;
        entrada(i,1) = t;
        entrada(i,2) = p;
    end
    [m,n] = size(entrada);  % -m- representa número de filas de la matriz.
                            % -n- representa número de columnas de matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
       respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
       respuesta = 0;
    end

   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.

       Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con
pantalla maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función Inicial',...              % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                 % No muestra ningún
número.
            'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.


        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [-inf inf],...
            'YLim', [-inf inf],...
            'XLimMode', 'auto',...
            'YLimMode', 'auto');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Posición','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
        hold(Ejes, 'all');

        x = entrada(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = entrada(:,2); % Recoge el valor de la función en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.
```

```
        xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini); % Recoge los puntos límite entre
intervalos según el instante.
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx);   % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.

        plot(xx,yy,'b');
    end

   [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
        fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
        for k=1:m
            fprintf(fi,'%.10e\t %.15e\n', entrada(k,1),entrada(k,2));
        end
        fclose(fi);
        linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
        linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
        warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

end
```

7 Inicio_Aplicacion_Espectrograma_6

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% CREACIÓN DE UN CONJUNTO DE DATOS DE PRUEBA CON SEIS FRECUENCIAS          %
% CONOCIDAS DIFERENTES, Y SU POSTERIOR OBTENCIÓN DEL ESPECTROGRAMA.        %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Inicio_Aplicacion_Espectrograma_6()

% Si se pulsa -OK- en el siguiente diálogo, se recogen los datos
% introducidos. El 'numero_coeficientes ~= 0'.
% Si se pulsa -Cancel- en el siguiente diálogo, no se devolverá ningún
% valor a 'coeficientes'. Por lo que 'numero_coeficientes = 0'.

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
format longEng;

coeficientes = inputdlg({'Amplitud_1','Frecuencia_1','Amplitud_2','Frecuencia_2', ...
```

```
                'Amplitud_3','Frecuencia_3','Amplitud_4','Frecuencia_4', ...
                'Amplitud_5','Frecuencia_5','Amplitud_6','Frecuencia_6', ...
                'Amplitud_7'},...
                'Introducción de Coeficientes'...
                , [1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20; 1 50; 1 20;
1 50]);

numero_coeficientes = length(coeficientes);
%disp(numero_coeficientes);

if numero_coeficientes ~= 0
    A1 = str2double(coeficientes{1});
    if isnan(A1)
        A1 = 0;
    end
    F1 = str2double(coeficientes{2});
    if isnan(F1)
        F1 = 0;
    end
    A2 = str2double(coeficientes{3});
    if isnan(A2)
        A2 = 0;
    end
    F2 = str2double(coeficientes{4});
    if isnan(F2)
        F2 = 0;
    end
    A3 = str2double(coeficientes{5});
    if isnan(A3)
        A3 = 0;
    end
    F3 = str2double(coeficientes{6});
    if isnan(F3)
        F3 = 0;
    end
    A4 = str2double(coeficientes{7});
    if isnan(A4)
        A4 = 0;
    end
    F4 = str2double(coeficientes{8});
    if isnan(F4)
        F4 = 0;
    end
    A5 = str2double(coeficientes{9});
    if isnan(A5)
        A5 = 0;
    end
    F5 = str2double(coeficientes{10});
    if isnan(F5)
        F5 = 0;
    end
    A6 = str2double(coeficientes{11});
    if isnan(A6)
        A6 = 0;
    end
    F6 = str2double(coeficientes{12});
    if isnan(F6)
        F6 = 0;
    end
    A7 = str2double(coeficientes{13});
    if isnan(A7)
        A7 = 0;
    end

% ------------------------------------------------------------------------
% El siguiente código se utilizará por si queremos poner algún texto
% indicando cuáles han sido los coeficientes proporcionados en la entrada.
% ------------------------------------------------------------------------
%
```

```
    A_1 = num2str(A1);
    F_1 = num2str(F1);
    A_2 = num2str(A2);
    F_2 = num2str(F2);
    A_3 = num2str(A3);
    F_3 = num2str(F3);
    A_4 = num2str(A4);
    F_4 = num2str(F4);
    A_5 = num2str(A5);
    F_5 = num2str(F5);
    A_6 = num2str(A6);
    F_6 = num2str(F6);
    A_7 = num2str(A7);


    fecha_hora = now;
    f_h = datestr(fecha_hora);

    funcion = strcat(f_h, '--> x(t) = ', A_1,'*sin(2*pi*',F_1,'*t)+ '...
        ,A_2,'*sin(2*pi*',F_2,'*t)+ '...
        ,A_3,'*sin(2*pi*',F_3,'*t)+ '...
        ,A_4,'*sin(2*pi*',F_4,'*t)+ '...
        ,A_5,'*sin(2*pi*',F_5,'*t)+ '...
        ,A_6,'*sin(2*pi*',F_6,'*t)+ '...
        ,A_7,'*t');

% ------------------------------------------------------------------------
%       FIN para texto informativo de la entrada de coeficientes.
% ------------------------------------------------------------------------

    entrada = [];  % Inicialización de matriz que recibe los datos.
    i = 0;

    for t=0:0.001:0.999
        i = i + 1;
        p = A1*sin(2*pi*F1*t)+A2*sin(2*pi*F2*t)+A3*sin(2*pi*F3*t)+ ...
            A4*sin(2*pi*F4*t)+A5*sin(2*pi*F5*t)+A6*sin(2*pi*F6*t)+ ...
            A7*t;
        entrada(i,1) = t;
        entrada(i,2) = p;
    end
    [m,n] = size(entrada);  % -m- representa número de filas de la matriz.
                            % -n- representa número de columnas de matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
       respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
       respuesta = 0;
    end

   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.

       Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con
pantalla maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función Inicial',...              % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                 % No muestra ningún
número.
            'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [-inf inf],...
            'YLim', [-inf inf],...
            'XLimMode', 'auto',...
            'YLimMode', 'auto');
```

```
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Posición','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',10);
        hold(Ejes, 'all');

        x = entrada(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = entrada(:,2); % Recoge el valor de la función en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.
        xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini); % Recoge los puntos límite entre
intervalos según el instante.
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx);   % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.


        plot(xx,yy,'b');

   end

   [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
        fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
        for k=1:m
            fprintf(fi,'%.10e\t %.15e\n', entrada(k,1),entrada(k,2));
        end
        fclose(fi);
        linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
        linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
        warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

end
```

8 Obtener_Coeficientes

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% OBTENCIÓN DE LOS COEFICIENTES PARA TENER EN CUENTA EN EL PROCESO DE     %
% FILTRADO SEGÚN EL CRITERIO DEL FACTOR DE OUTLIER.                       %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Coeficientes( )

  close all;
  clear all;
  clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

  format long g;
```

```
  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---
  [fichero, ruta] = uigetfile( ...
  {'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
   'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Extracción de Datos');

  fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
  funcion = fichero_seleccionado;

  if isequal(fichero,0)
    warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
  else
    fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
    fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
    formato = '%g\t %g\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos1 = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    fclose(fichero_lectura);
    Datos1 = Datos1'; % Transposición matriz a [Inf 2].
    [m, n] = size(Datos1);   % Captura las dimensiones de la matriz.

    instante_muestra = Datos1(:,1);
    valor_muestra    = Datos1(:,2);

   % display(horzcat(instante_muestra,valor_muestra));
   Coeficientes = [];
   indicador = 0;
   indice = 0;
   for i = 101:1024
       j = i - 100;
       Coeficientes(j,1) = instante_muestra(i);
       Coeficientes(j,2) = abs((valor_muestra(i) - mean(valor_muestra(1:i-1))) /
std(valor_muestra(1:i-1))) ;
   %    if (Coeficientes(j,2) >= 10 && indicador == 0) % El primer valor de coeficiente
que supera o iguala el valor de 10.
       if (Coeficientes(j,2) >= 6 && indicador == 0) % El primer valor de coeficiente
que supera o iguala el valor de 6.
           indice = i - 20; % Nos da el índice de la muestra que tiene lugar 20
milisegundos antes de alcanzar el valor del coeficiente >= 10.
           indicador = 1;   % Para que no siga tomando más indices, y considere sólo el
primero encontrado.
       end
   end
  end

   % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

  % display(coeficientes);
  m = length(Coeficientes(:,1));
  % display(m);

   % --- Solicitud para escribir datos de los coeficientes en fichero de texto ---
inicio ---

   [fichero2,ruta2] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero2,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
```

```
        fichero_seleccionado2 = fullfile(ruta2, fichero2);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi2 = fopen(fichero_seleccionado2, 'w');
        for k=1:m
            fprintf(fi2,'%.10e\t %.15e\n', Coeficientes(k,1),Coeficientes(k,2));
        end
        fclose(fi2);
        linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
        linea2 = strcat('', fichero_seleccionado2);
        warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

   % --- Solicitud para escribir datos de los coeficientes en fichero de texto --- fin -
--

   % --- Representación gráfica de los coeficientes frente al tiempo --- inicio ---

   Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con pantalla
maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función de Coeficientes',...          % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                     % No muestra ningún
número.
            'Color', 'w');  % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.

        PosicionInferior = min(Coeficientes(:,2));
        PosicionSuperior = max(Coeficientes(:,2));
        TiempoMinimo = min(Coeficientes(:,1));
        TiempoMaximo = max(Coeficientes(:,1));

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [TiempoMinimo TiempoMaximo],...
            'YLim', [PosicionInferior PosicionSuperior],...
            'XLimMode', 'manual',...
            'YLimMode', 'manual');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Coeficiente','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',12);
        hold(Ejes, 'all');

        x = Coeficientes(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = Coeficientes(:,2); % Recoge el valor del coeficiente en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.

        xx = x_ini;
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx);   % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.
        yy_ini = yy';

        plot(xx,yy,'b');

 % --- Representación gráfica de los coeficientes frente al tiempo --- fin ---

 % --- Extracción del fichero original a partir del valor de -indice- . --- inicio ---
     %  display(indice);

       [fichero3,ruta3] = uiputfile('*.txt','Guardar Datos Extraidos como ...');

        if isequal(fichero3,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
          warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
        else
          fichero_seleccionado3 = fullfile(ruta3, fichero3);
          fi3 = fopen(fichero_seleccionado3, 'w');
          for k=indice:1024
```

```
            fprintf(fi3,'%.10e\t %.15e\n', instante_muestra(k),valor_muestra(k));
          end
          fclose(fi3);
          linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
          linea2 = strcat('', fichero_seleccionado3);
          warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
        end

 % --- Extracción del fichero original a partir del valor de -indice- . --- fin ---

end
```

9 Obtener_Datos_A_Clasificar

```
%------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                             %
% RECOGE LOS DATOS RELATIVOS DE LA PRIMERA IMF PARA LAS 90 DESCARGAS QUE  %
% HAN SIDO OBJETO DEL ESTUDIO, Y GENERA DISTINTOS FICHEROS EXCEL RESULTADO%
% DE APLICAR LA FUNCIÓN -kmeans- DE MATLAB.                              %
%------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Datos_A_Clasificar()

  format long e; % Con exponente y con 15 dígitos decimales.

  nombre_archivos = '*I11.txt';
  files = dir(nombre_archivos);

  Datos_Salida = [];
  Descarga = [];

  for i=1:length(files)
  % for i = 1:2
    fid(i)=fopen(files(i).name);
    desc = files(i).name (1:5);
    numer = str2num(desc);
    Descarga(i) = numer;
   % display(files(i).name);
    fichero_lectura = fopen(files(i).name,'r');
    formato = '%e\t %e\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos_Aux = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    Datos_Aux = Datos_Aux';
    tamanio = length(Datos_Aux(:,1));
    fclose(fichero_lectura);
    contador = 0;
    Datos_E = [];
    for j=1:tamanio
       contador = contador + 1;
       Datos_E(contador) = Datos_Aux(j,2);
    end
    Datos_Salida(i,:) = Datos_E;

   % tamanio_s = length(Datos_E);
   % for k = 1:tamanio_s
   %   fprintf(fi,'%+.15e\t',Datos_Salida(k,i));
   % end

 end
```

```
% fclose(fi);
X = Datos_Salida;
xlswrite('Solucion_Datos_IMFs.xlsx', X); % Sólo se genera una vez,
% porque es la recopilación de los 90 ficheros de la 1ª IMF.
k = 15;
% Sintaxis de kmeans utilizada: [IDX,C,sumd] = kmeans(X,k).
% IDX  es la matriz de pertenencia a cada una de las K clases. Si K = 2,
% por ejemplo, el conjunto pertenecerá a la clase 1 o a la clase 2. IDX es
% un vector de longitud igual al numero de vectores a clasificar. En
% nuestro caso, se tratará de clasificar un conjunto de 90 vectores con
% 1.024 características cada uno de ellos.
% C    es la matriz de centroides. Se calcularán tantos centroides como
% indique K. En nuestro caso, para K = 2, se tendrán 2 centroides con
% 1.024 caracteristicas cada uno. Cada característica del centroide
% representa el valor medio de los vectores que pertenecen a dicho
% centroide (que pertenecen a la clase de equivalencia representada por el
% centroide).
% sumd es la matriz de la suma de las distancias. Devuelve las sumas
% dentro de la agrupación de distancias de punto a centroide. Si sólo
% hubiera un vector que pertenezca a la clase de equivalencia de uno de
% los centroides => sumd = 0. Si por ejemplo, tenemos 3 vectores con
% IDX = 2, se calcularía el centroide número 2. sumd devolvería la suma de
% todas las distancias de esos 3 vectores al centroide; teniendo en cuenta
% las 1.024 características (de cada uno de los 3 vectores y del
% centroide).

[Pertenencia,Centroide,sumd] = kmeans(X,k);
Descarga = Descarga';
% disp(Descarga);
% disp(Pertenencia);
Matriz_Pertenencia_Descargas = [];
Matriz_Pertenencia_Descargas(:,1) = Descarga;
Matriz_Pertenencia_Descargas(:,2) = Pertenencia;
% longitud1 = length(Matriz_Pertenencia_Descargas(:,1)); % N° registros fichero.
% [fichero1,ruta1] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos de Pertenencia como
...');
% if isequal(fichero1,0)
%   % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
%   warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
% else
%   fichero_seleccionado1 = fullfile(ruta1, fichero1);
%   %disp(fichero_seleccionado);
%   fi1 = fopen(fichero_seleccionado1, 'w');
%   for i=1:longitud1
%       fprintf(fi1,'%d\t %d\n',
Matriz_Pertenencia_Descargas(i,1),Matriz_Pertenencia_Descargas(i,2));
%   end
%   fclose(fi1);
%   linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
%   linea2 = strcat('', fichero_seleccionado1);
%   warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
% end
% disp(Matriz_Pertenencia_Descargas);
xlswrite('Solucion_Pertenencia_K_15.xlsx', Matriz_Pertenencia_Descargas);
% Centroide = Centroide'; % Al hacerlo en Excel, no es preciso trasponer.
% longitud2 = length(Centroide(:,1)); % Misma longitud para todos los centroides.
% [fichero2,ruta2] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos de Centroides como
...');
% if isequal(fichero2,0)
%   % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
%   warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
% else
%   fichero_seleccionado2 = fullfile(ruta2, fichero2);
%   %disp(fichero_seleccionado);
%   fi2 = fopen(fichero_seleccionado2, 'w');
%   for j=1:longitud2
%       switch k
%         case 2
%            fprintf(fi2,'%.15e\t %+.15e\n', Centroide(j,1),Centroide(j,2));
```

```
 %         case 3
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %+.15e\n',
Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3));
 %         case 4
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %.15e\t %+.15e\n',...
 %                    Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3),Centroide(j,4));
 %         case 5
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %+.15e\n',...
 %
Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3),Centroide(j,4),Centroide(j,5));
 %         case 6
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %+.15e\n',...
 %
Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3),Centroide(j,4),Centroide(j,5),Centroide(j,6
));
 %         case 7
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %+.15e\n',...
 %
Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3),Centroide(j,4),Centroide(j,5),Centroide(j,6
),...
 %                    Centroide(j,7));
 %         case 8
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t
%+.15e\n',...
 %
Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3),Centroide(j,4),Centroide(j,5),Centroide(j,6
),...
 %                    Centroide(j,7),Centroide(j,8));
 %         case 9
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t
%.15e\t %+.15e\n',...
 %
Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3),Centroide(j,4),Centroide(j,5),Centroide(j,6
),...
 %                    Centroide(j,7),Centroide(j,8),Centroide(j,9));
 %         case 10
 %            fprintf(fi2,'%.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t %.15e\t
%.15e\t %.15e\t %+.15e\n',...
 %
Centroide(j,1),Centroide(j,2),Centroide(j,3),Centroide(j,4),Centroide(j,5),Centroide(j,6
),...
 %                    Centroide(j,7),Centroide(j,8),Centroide(j,9),Centroide(j,10));
 %         otherwise
 %            warning('Dimensiones no esperadas. No se creará fichero de centroides.');
 %      end
 %   end
 %   fclose(fi2);
 %   linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
 %   linea2 = strcat('', fichero_seleccionado2);
 %   warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
 % end
 % disp(Centroide);
 xlswrite('Solucion_Centroides_K_15.xlsx', Centroide);
 % longitud3 = k; % Número de clases de equivalencia diferentes.
 % [fichero3,ruta3] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Suma de Datos de Distancias
como ...');
 % if isequal(fichero3,0)
 %   % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
 %   warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
 % else
 %   fichero_seleccionado3 = fullfile(ruta3, fichero3);
 %   %disp(fichero_seleccionado);
 %   fi3 = fopen(fichero_seleccionado3, 'w');
 %   for l=1:longitud3
 %       fprintf(fi3,'%+.15e\n', sumd(l));
 %   end
 %   fclose(fi3);
 %   linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
 %   linea2 = strcat('', fichero_seleccionado3);
```

```
 %   warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
 % end
 %disp(sumd);
 xlswrite('Solucion_Suma_Distancias_K_15.xlsx', sumd);
 vectorNoRepetido=unique(Pertenencia); % Con este vector se analiza uno a uno los
elementos.
 vectorNoRepetido = sort(vectorNoRepetido);
 % disp(vectorNoRepetido);
 ocurrencias=zeros(numel(vectorNoRepetido),1); % Preallocation for speed.
 for i=1:numel(vectorNoRepetido)
  mask=Pertenencia==vectorNoRepetido(i); % Esto da un vector con 1 en las ocurrencias y
ceros donde no hay coincidencia.
  ocurrencias(i)=nnz(mask);
 end
 % disp(ocurrencias)
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase = [];
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase(:,1) = vectorNoRepetido;
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase(:,2) = ocurrencias;
 % longitud4 = length(Matriz_Total_Descargas_Por_Clase(:,1)); % Nº registros fichero.
 % [fichero4,ruta4] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos de Total Descargas por
Clase como ...');
 % if isequal(fichero4,0)
 %   % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
 %   warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
 % else
 %   fichero_seleccionado4 = fullfile(ruta4, fichero4);
 %   %disp(fichero_seleccionado);
 %   fi4 = fopen(fichero_seleccionado4, 'w');
 %   for m=1:longitud4
 %       fprintf(fi4,'%d\t %d\n',
Matriz_Total_Descargas_Por_Clase(m,1),Matriz_Total_Descargas_Por_Clase(m,2));
 %   end
 %   fclose(fi4);
 %   linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
 %   linea2 = strcat('', fichero_seleccionado4);
 %   warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
 % end
 %disp(Matriz_Total_Descargas_Por_Clase);
 xlswrite('Solucion_Total_Descargas_Por_Clase_K_15.xlsx',
Matriz_Total_Descargas_Por_Clase);
end
```

10 Obtener_Datos_Descarga

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% SELECCIONADO UN NÚMERO DE DESCARGA, EXTRAE 36 FICHEROS DIFERENTES (3    %
% FICHEROS POR CADA UNA DE LAS 12 SEÑALES QUE COMPONEN CADA DESCARGA).    %
% 1. En uno de los ficheros de extraen las 1.024 muestras previas al      %
%    instante de la disrupción.                                           %
% 2. En otro de los ficheros de extraen las 512 muestras previas al       %
%    instante de la disrupción.                                           %
% 3. En el otro de los ficheros de extraen las 512 penúltimas muestras    %
%    previas al instante de la disrupción (desde la muestra 1.024 hasta   %
%    la muestra 513 previas al instante de la disrupción).                %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Datos_Descarga()

  [descar, tiempo] = Obtener_Datos_Entrada();
```

```
  display(horzcat(descar, tiempo));
  descarga = num2str(descar);
  nombre_archivos = ['DES_' descarga '_*_r1.txt'];
  %files=dir('DES_*_r1.txt');
  %files = dir(nombre_archivos ,'*_r1.txt');
  files = dir(nombre_archivos);

  Datos12 = [];
  indice = 0;

  for i=1:length(files)
  % for i=3:3       % FHM 21.12.2015.
    fid(i)=fopen(files(i).name);
  %   files(i).values=textscan(fid(i), '%f
%f','delimiter',',','HeaderLines',20,'MultipleDelimsAsOne',1);
    display(files(i).name);
    fichero_lectura = fopen(files(i).name,'r');
    formato = '%g\t %g\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos_Aux = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    Datos_Aux = Datos_Aux';
    fclose(fichero_lectura);
    indices = find(Datos_Aux(:,1) > tiempo);
    indice_fin = indices(1) - 1;
    indice_inicio = indice_fin - 1023;
    contador = 0;
    Datos_E = [];
    for j=indice_inicio:indice_fin
       contador = contador + 1;
       Datos_E(contador,1) = Datos_Aux(j,1);
       Datos_E(contador,2) = Datos_Aux(j,2);
    end

    % ------ Ampliación del número de instantes por interpolación. ------

      Datos_E2 = [];

      % --- Método 1 --- ---> GENERA PROBLEMAS EN LA INTERPOLACIÓN.

      % x = Datos_E(:,1);
      % y = Datos_E(:,2);
      % xx = min(Datos_E(:,1)):0.00002:max(Datos_E(:,1));
      % yy = spline(x,y,xx);
      % contador2 = length(xx);
      % Datos_E2(:,1) = xx;
      % Datos_E2(:,2) = yy;

     % --- Método 2 ---.

     % x = Datos_E(:,1);
     % y = Datos_E(:,2);
     % t = 1:numel(x);
     % ti = 1:0.01:numel(x);     % FHM 07.01.2016. Con 100 interpolaciones.
     % ti = 1:0.001:numel(x);  % FHM 07.01.2016. Con 1.000 interpolaciones.
     % xi = interp1(t,x,ti );
     % yi = interp1(t,y,ti );
     % contador2 = length(xi);
     % Datos_E2(:,1) = xi;
     % Datos_E2(:,2) = yi;
     % display(length(Datos_E2(:,1)));


    % ------ Ampliación del número de instantes por interpolación. - fin -

    fichero_1024 = strcat(files(i).name,'_1024.txt');
    fi = fopen(fichero_1024, 'w');
    for k=1:contador
```

```
     fprintf(fi,'%f\t %6.7e\n', Datos_E(k,1)',Datos_E(k,2)');
    end

    % for k=1:contador2
    %   fprintf(fi,'%f\t %6.7e\n', Datos_E2(k,1)',Datos_E2(k,2)');
    % end

    fclose(fi);

    indice_i1 = indice_fin - 1023;
    indice_f1 = indice_i1 + 511;
    contador1 = 0;
    Datos_E1 = [];
    for j1=indice_i1:indice_f1
       contador1 = contador1 + 1;
       Datos_E1(contador1,1) = Datos_Aux(j1,1);
       Datos_E1(contador1,2) = Datos_Aux(j1,2);
    end
    fichero_512_1 = strcat(files(i).name,'_512_1.txt');
    fi1 = fopen(fichero_512_1, 'w');
    for k1=1:contador1
       fprintf(fi1,'%f\t %6.7e\n', Datos_E1(k1,1)',Datos_E1(k1,2)');
    end
    fclose(fi1);

    indice_i2 = indice_i1 + 512;
    indice_f2 = indice_i1 + 1023;
    contador2 = 0;
    Datos_E2 = [];
    for j2=indice_i2:indice_f2
       contador2 = contador2 + 1;
       Datos_E2(contador2,1) = Datos_Aux(j2,1);
       Datos_E2(contador2,2) = Datos_Aux(j2,2);
    end
    fichero_512_2 = strcat(files(i).name,'_512_2.txt');
    fi2 = fopen(fichero_512_2, 'w');
    for k2=1:contador2
       fprintf(fi2,'%f\t %6.7e\n', Datos_E2(k2,1)',Datos_E2(k2,2)');
    end
    fclose(fi2);

  end

end
```

11 Obtener_Datos_Descarga_2

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% SELECCIONADO UN FICHERO QUE CONTIENE DATOS MUESTREADO, DEVUELVE OTRO    %
% FICHERO QUE CONTIENE LOS DATOS RELATIVOS A LAS PENDIENTES MEDIAS SEGÚN  %
% EL INTERVALO TEMPORAL. CADA TRAMO O INTERVALO CONSIDERA PENDIENTES DEL  %
% MISMO SIGNO.                                                            %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Datos_Descarga_2()

  close all;
  clear all;
  clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
```

```
  format long g;

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---
  [fichero, ruta] = uigetfile( ...
  {'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
   'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Extracción de Datos');

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

  if isequal(fichero,0)
    warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
  else
    Datos1 = [];
    fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
    fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
    formato = '%g\t %g\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos1 = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    fclose(fichero_lectura);
    Datos1 = Datos1'; % Transposición matriz a [Inf 2].
    [m, n] = size(Datos1);    % Captura las dimensiones de la matriz.
    instante_descarga = Datos1(:,1);
    amplitud   = Datos1(:,2);
   % display (horzcat(instante_descarga, amplitud));
  end

  [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
        Pendiente = diff(amplitud);
        fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
        for k=1:m
            if k == 1
                Datos1(k,3) = 0;
            else
                Datos1(k,3) = Pendiente(k - 1);
            end
            fprintf(fi,'%.6f %.15f %+.15f\n', Datos1(k,1),Datos1(k,2),Datos1(k,3));
        end
        fclose(fi);
        linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
        linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
        warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

end
```

12 Obtener_Datos_Descarga_3

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% SELECCIONADO UN FICHERO QUE CONTIENE LOS DATOS FILTRADOS RESULTANTES     %
% SEGÚN EL CRITERIO DE MÁXIMA PENDIENTE MEDIA O SEGÚN EL FACTOR DE OUTLIER%
% INTERPOLA SOBRE DICHO CONJUNTO DE DATOS HASTA OBTENER 1.024 MUESTRAS.    %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Datos_Descarga_3()

  close all;
  clear all;
  clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
  format long g;
  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---
  [fichero, ruta] = uigetfile( ...
  {'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
   'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Extracción de Datos');

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---
  if isequal(fichero,0)
    warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
  else
    Datos1 = [];
    fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
    fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
    formato = '%g %g\n'; % Lectura del fichero.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos1 = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    fclose(fichero_lectura);
    Datos1 = Datos1'; % Transposición matriz a [Inf 2].
    [m, n] = size(Datos1);   % Captura las dimensiones de la matriz.
    instante_descarga = Datos1(:,1);
    amplitud   = Datos1(:,2);
  %  display (horzcat(instante_descarga, amplitud));
  end
  [fichero,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

   if isequal(fichero,0)
        % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
        warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
   else
        fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
        %disp(fichero_seleccionado);
        fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
        tmin = min(Datos1(:,1));
        tmax = max(Datos1(:,1));
        incremento = (tmax - tmin) / 1023;
        entrada_xx = tmin:incremento:tmax;
        entrada_yy = spline(Datos1(:,1), Datos1(:,2), entrada_xx);
        Datos2 = [];
        Datos2(:,1) = entrada_xx;
        Datos2(:,2) = entrada_yy;
```

```
        for k=1:length(entrada_xx)
         % contador = contador + 1;
         % Datos_E(contador,1) = Datos_Aux(j,1);
         % Datos_E(contador,2) = Datos_Aux(j,2);
         % fprintf(fi,'%.6f %.15f\n', Datos1(k,1),Datos1(k,2));
         fprintf(fi,'%.6f %.15f\n', Datos2(k,1),Datos2(k,2));
        end

       % fprintf(fi,'%.6f %.15f\n', Datos1(k,1),Datos1(k,2));
       fclose(fi);
       linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como :';
       linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
       warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
   end

end
```

13 Obtener_Datos_Entrada

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% SELECCIONADO UN FICHERO QUE CONTIENE DATOS MUESTREADO, DEVUELVE OTRO     %
% FICHERO QUE CONTIENE EL NÚMERO DE LA DESCARGA JUNTO CON EL INSTANTE      %
% PREVIO AL MOMENTO DE LA DISRUPCIÓN.                                      %
%--------------------------------------------------------------------------%

function [numero_descarga, tiempo_maximo] = Obtener_Datos_Entrada( )

  close all;
  clear all;
  clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

  format long g;
  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---
  [fichero, ruta] = uigetfile( ...
  {'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
   'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Extracción de Datos');

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

  if isequal(fichero,0)
    warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
  else
    fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
    fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
    formato = '%g\t %g\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos1 = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    fclose(fichero_lectura);
    Datos1 = Datos1'; % Transposición matriz a [Inf 2].
    [m, n] = size(Datos1);   % Captura las dimensiones de la matriz.
```

```
    numero_descarga = Datos1(:,1);
    tiempo_maximo   = Datos1(:,2);
    % display(horzcat(numero_descarga,tiempo_maximo));
  end

end
```

14 Obtener_Envolventes

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% OBTIENE LA ENVOLVENTE SUPERIOR E INFERIOR DADA UNA SERIE DE PARÁMETROS. %
%--------------------------------------------------------------------------%

function [es_componentes, ei_componentes] = Obtener_Envolventes(Maximos, Minimos,
tminimo, tmaximo, yy, x_ini)

 % SE PASA COMO PARÁMETRO, EL VECTOR DE TIEMPOS COMPLETO ORIGINAL (ABSCISAS)
 % --> Se trata del vector x_ini, que se recibe como argumento.
 % es_xx = tmin:1.2500e-05:tmax;
 % es_xx = tmin:0.005:tmax;                    % FHM 04.11.2015.
 tmin = min(x_ini);                            % FHM 04.11.2015.
 tmax = max(x_ini);                            % FHM 04.11.2015.
 es_xx = x_ini;                                % FHM 04.11.2015.
 es_yy = spline(Maximos(:,1), Maximos(:,2), es_xx);

  % -------------------------- <FHM 26.05.2015> ------------------------
 [ma,na] = size(Maximos);
 dM = length(yy);
 mt = length(es_yy);
 Maximos_Aux = [];
 imax = 0;
 if es_yy(1) < yy(1)  % Si el primer elemento de la Env.Sup. < imagen func.
     imax = imax + 1;
     Maximos_Aux(imax,1) = tmin;
     Maximos_Aux(imax,2) = yy(1);
 end
 for i=1:ma
     imax = imax + 1;
     Maximos_Aux(imax,1) = Maximos(i,1);
     Maximos_Aux(imax,2) = Maximos(i,2);
 end
 if es_yy(mt) < yy(dM) % Si el último elemento de la Env.Sup. < imagen func.
     imax = imax + 1;
     Maximos_Aux(imax,1) = tmax;
     Maximos_Aux(imax,2) = yy(dM);
 end
 es_yy_aux = spline(Maximos_Aux(:,1), Maximos_Aux(:,2), es_xx);
 % plot(es_xx, es_yy_aux, 'g');    % <FHM 16.06.2015>
 es_componentes = [];
 es_componentes(:,1) = es_xx;
 es_componentes(:,2) = es_yy_aux;

 % -------------------------- </FHM 26.05.2015> ------------------------
```

```
% ei_xx = tmin:1.2500e-05:tmax;
% ei_xx = tmin:0.005:tmax;                          % FHM 04.11.2015.
ei_xx = x_ini;                                      % FHM 04.11.2015.
ei_yy = spline(Minimos(:,1), Minimos(:,2), ei_xx);

% -------------------------- <FHM 26.05.2015> ------------------------
[mi,ni] = size(Minimos);
dm = length(yy);
mr = length(ei_yy);
Minimos_Aux = [];
imin = 0;
if ei_yy(1) > yy(1) % Si el primer elemento de la Env.Inf. > imagen func.
    imin = imin + 1;
    Minimos_Aux(imin,1) = tmin;
    Minimos_Aux(imin,2) = yy(1);
end
for i=1:mi
    imin = imin + 1;
    Minimos_Aux(imin,1) = Minimos(i,1);
    Minimos_Aux(imin,2) = Minimos(i,2);
end
if ei_yy(mr) > yy(dm) % Si el último elemento de la Env.Inf. > imagen func.
    imin = imin + 1;
    Minimos_Aux(imin,1) = tmax;
    Minimos_Aux(imin,2) = yy(dm);
end
ei_yy_aux = spline(Minimos_Aux(:,1), Minimos_Aux(:,2), ei_xx);
% plot(ei_xx, ei_yy_aux, 'r');     % <FHM 16.06.2015>
ei_componentes = [];
ei_componentes(:,1) = ei_xx;
ei_componentes(:,2) = ei_yy_aux;

% -------------------------- </FHM 26.05.2015> ------------------------

end
```

15 Obtener_Espectrograma_Datos_IMFs

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% SE SELECCIONA UN FICHERO QUE REPRESENTA ALGUNA IMF, PARA GENERAR SU      %
% ESPECTROGRAMA CORRESPONDIENTE.                                           %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Espectrograma_Datos_IMFs()

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

format short e;

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

[fichero, ruta] = uigetfile( ...
{'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
 'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
```

```
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

if isequal(fichero,0)
   warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
else
   fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
   fichero_lectura_previo = fopen(fichero_seleccionado,'r');
%   formato = '%f\t %f\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
%   dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
%   Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
%   fclose(fichero_lectura);
%   Entrada_Datos = Entrada_Datos'; % Transposición matriz a [Inf 2].
%   [m, n] = size(Entrada_Datos);   % Captura las dimensiones de la matriz.
   formato = '%g';
   dimensiones = [1 Inf];
   Entrada_Dat = fscanf(fichero_lectura_previo,formato,dimensiones);
   fclose(fichero_lectura_previo);
   Entrada_Dat = Entrada_Dat';
   numero_valores = length(Entrada_Dat);
   numero_columnas = numero_valores / 1024;

   % display(horzcat(numero_valores, numero_columnas));

   ncolumnas = 0;
   fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
   switch numero_columnas
    case 4
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [4 Inf];
        ncolumnas = 4;
    case 5
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [5 Inf];
        ncolumnas = 5;
    case 6
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [6 Inf];
        ncolumnas = 6;
    case 7
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [7 Inf];
        ncolumnas = 7;
    case 8
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [8 Inf];
        ncolumnas = 8;
    case 9
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [9 Inf];
        ncolumnas = 9;
    case 10
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [10 Inf];
        ncolumnas = 10;
    case 11
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [11 Inf];
        ncolumnas = 11;
    case 12
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [12 Inf];
```

```
        ncolumnas = 12;
    case 13
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [13 Inf];
        ncolumnas = 13;
    case 14
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\n';
        dimensiones = [14 Inf];
        ncolumnas = 14;
    case 15
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\n';
        dimensiones = [15 Inf];
        ncolumnas = 15;
    case 16
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\n';
        dimensiones = [16 Inf];
        ncolumnas = 16;
    case 17
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [17 Inf];
        ncolumnas = 17;
    case 18
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [18 Inf];
        ncolumnas = 18;
    case 19
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [19 Inf];
        ncolumnas = 19;
    case 20
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [20 Inf];
        ncolumnas = 20;
    otherwise
        warning('Dimensiones no esperadas. No se creará espectrograma.');
   end

   Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones);
   fclose(fichero_lectura);
   Entrada_Datos = Entrada_Datos';

   % display(ncolumnas);

   IMFs = [];
   numero_IMFs = ncolumnas - 3;
   for i=1:numero_IMFs
       IMFs(:,i) = Entrada_Datos(:,i);
   end
   Tiempos = [];
   Tiempos = Entrada_Datos(:,ncolumnas);
end

tiempo   = Tiempos;

tiempo_total = max(tiempo) - min(tiempo);
Fs = 1024 / tiempo_total;
display(horzcat(tiempo_total,Fs));
win = 110;
noverlap = 108;
num_ptos = 8192;

figure;
```

```
for indice=1:numero_IMFs
  subplot(numero_IMFs,1,indice);
  [y,f,t,p] =spectrogram(IMFs(:,indice), win, noverlap, num_ptos, Fs, 'yaxis');
  matriz = log10(abs(p) + eps);
  xlmax = length(tiempo);
  [fila, colu] = size(t);
  tiempos = [];
% Adaptación del vector de tiempos
 for a = 1:colu
  tiempos(a) = tiempo(fix((xlmax*a) / colu));
 end
 surf(tiempos, f, (matriz),'EdgeColor','none');
 axis xy;
 axis tight;
 colormap(jet);
 view(0, 90);
 if indice == 1
     title(fichero_seleccionado,'Color','b','fontweight','bold','fontsize',12);
 end
 xlabel('Tiempo (seg.)','Color','k','fontweight','bold','fontsize',10);
 ylabel('Frec. (Hz)','Color','k','fontweight','bold','fontsize',10);
 colorbar;
 grid on;
end

% clc;

end
```

16 Obtener_Espectrograma_Datos_Interpolados

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% UNA VEZ PRODUCIDA LA INTERPOCIÓN QUE TIENE LUGAR DESPUÉS DEL FILTRADO    %
% DE DATOS DE ENTRADA, SE OBTIENE EL CORRESPONDIENTE ESPECTROGRAMA.        %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Espectrograma_Datos_Interpolados()

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

format short e;

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

[fichero, ruta] = uigetfile( ...
{'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
 'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');
```

```
% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

if isequal(fichero,0)
   warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
else
   fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
   fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
   formato = '%f\t %f\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
   dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
   Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
   fclose(fichero_lectura);
   Entrada_Datos = Entrada_Datos'; % Transposición matriz a [Inf 2].
   [m, n] = size(Entrada_Datos);   % Captura las dimensiones de la matriz.
end

tiempo   = Entrada_Datos(:,1);
amplitud = Entrada_Datos(:,2);

tiempo_total = max(tiempo) - min(tiempo);
Fs = 1024 / tiempo_total;
display(horzcat(tiempo_total,Fs));

win = 110;
noverlap = 108;
% Fs = 1e+3;
num_ptos = 8192;
[y,f,t,p] =spectrogram(amplitud, win, noverlap, num_ptos, Fs, 'yaxis');
matriz = log10(abs(p) + eps);
xlmax = length(tiempo);
[fila, colu] = size(t);
tiempos = [];
% Adaptación del vector de tiempos
for a = 1:colu
  tiempos(a) = tiempo(fix((xlmax*a) / colu));
end
% Impresión del espectrograma.
figure
surf(tiempos, f, (matriz),'EdgeColor','none');
axis xy;
axis tight;
colormap(jet);
view(0, 90);
xlabel('Tiempo (seg.)','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
ylabel('Frecuencia (Hz)','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
title(fichero_seleccionado,'Color','b','fontweight','bold','fontsize',12);
colorbar;
grid on;

% clc;


end
```

17 Obtener_Espectrograma_Datos_Originales

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% OBTENCIÓN DEL ESPECTROGRAMA DE LA DESCARGA ANTES DEL PROCESO DE FILTRADO%
%--------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Espectrograma_Datos_Originales()

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

format short e;

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

[fichero, ruta] = uigetfile( ...
{'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
 'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

if isequal(fichero,0)
   warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
else
   fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
   fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
   formato = '%f\t %f\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
   dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
   Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
   fclose(fichero_lectura);
   Entrada_Datos = Entrada_Datos'; % Transposición matriz a [Inf 2].
   [m, n] = size(Entrada_Datos);   % Captura las dimensiones de la matriz.

end
tiempo   = Entrada_Datos(:,1);
amplitud = Entrada_Datos(:,2);
win = 110;
noverlap = 108;
Fs = 1e+3;
num_ptos = 8192;
[y,f,t,p] =spectrogram(amplitud, win, noverlap, num_ptos, Fs, 'yaxis');
matriz = log10(abs(p) + eps);
xlmax = length(tiempo);
[fila, colu] = size(t);
tiempos = [];
% Adaptación del vector de tiempos
for a = 1:colu
    tiempos(a) = tiempo(fix((xlmax*a) / colu));
```

```
end
% Impresión del espectrograma.
figure
surf(tiempos, f, (matriz),'EdgeColor','none');
axis xy;
axis tight;
colormap(jet);
view(0, 90);
xlabel('Tiempo (seg.)','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
ylabel('Frecuencia (Hz)','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
title(fichero_seleccionado,'Color','b','fontweight','bold','fontsize',12);
colorbar;
grid on;

clc;

end
```

18 Obtener_Ficheros_No_Disruptivos

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% DE TODAS LAS DESCARGAS DISPONIBLES PARA EL ESTUDIO, SE SELECCIONAN SÓLO  %
% AQUELLAS DESCARGAS NO DISRUPTIVAS.                                       %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Ficheros_No_Disruptivos()

 % format long e; % Con exponente y con 15 dígitos decimales.
 format long g;  % Selecciona el formato más apropiado para cada dato.

  nombre_archivos = '*_02_r1.txt';
  files = dir(nombre_archivos);

  Datos_01 = [];
  Descarga = [];
  indice_aux = []; % Vector donde se guardan los índices que igualan o superan el
                   % instante seleccionado para la señal *_01.

  Datos_01 = xlsread('Descargas_No_Disruptivas - Seleccionadas.xlsx');
  % display(Datos_01);

  for i=1:length(files)
  % for i = 1:1
    fid(i)=fopen(files(i).name,'r');
    formato = '%e\t %e\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos_Aux = [];
    Datos_Aux = fscanf(fid(i),formato,dimensiones); % Deja el contenido del fichero en
una matriz.
    Datos_Aux = Datos_Aux';
    tamanio = length(Datos_Aux(:,1));
    fclose(fid(i));
    desc = files(i).name (5:9);
    numer = str2num(desc);
    Descarga(i) = numer;
   % display(files(i).name);
   % display(Descarga(i));
    indice = find(Datos_01(:,1) == Descarga(i));
    if numel(indice) ~= 0 % Si se ha encontrado coincidencia.
```

```
        valor = Datos_01(indice,2);
        indice_aux = find(Datos_Aux(:,1) >= valor);
       % display(valor);
        indice2 = indice_aux(1); % Primer instante que iguala o supera el instante
                                 % seleccionado para la señal *_01.
       % display(indice2);
       indice_i = indice2 - 512;
       indice_f = indice2 - 1;
       contador = 0;
       Datos_temp = [];
       for ind = indice_i:indice_f
          contador = contador + 1
          Datos_temp(contador,1) = Datos_Aux(ind,1);
          Datos_temp(contador,2) = Datos_Aux(ind,2);
       end

       % ------------------- Inicio de la Interpolación -----------

       tmin = min(Datos_temp(:,1));
       tmax = max(Datos_temp(:,1));
       incremento = (tmax - tmin) / 1023;
       entrada_xx = tmin:incremento:tmax;
       entrada_yy = spline(Datos_temp(:,1), Datos_temp(:,2), entrada_xx);
       Datos_02 = [];
       Datos_02(:,1) = entrada_xx;
       Datos_02(:,2) = entrada_yy;

       % ------------------- Final de la Interpolación ------------

       directorio = 'C:\Users\Francisco Hernández\Documents\MATLAB\TFM-2016 No
Disruptivas\';
       nombre = num2str(Descarga(i));
       fichero = strcat(directorio,nombre,'A','.txt');
       % display(fichero);
       fs = fopen(fichero,'w');
       for j = 1:length(entrada_xx)
          fprintf(fs,'%.10e\t %+.15e\n', Datos_02(j,1),Datos_02(j,2));
       end
       fclose(fs);
    end
  end
end
```

19 Obtener_Grafica

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% REPRESENTA LA FUNCIÓN GRÁFICAMENTE, ATENDIENDO AL FICHERO SELECCIONADO.  %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Grafica()

close all;
clear all;
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

format short e;

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

[fichero, ruta] = uigetfile( ...
{'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
 'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

if isequal(fichero,0)
   warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
else
   fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
   fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
   formato = '%f\t %f\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
   dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
   Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
   fclose(fichero_lectura);
   Entrada_Datos = Entrada_Datos'; % Transposición matriz a [Inf 2].
   [m, n] = size(Entrada_Datos);   % Captura las dimensiones de la matriz.

    respuesta = 0;
    button = questdlg('¿Quiere representar gráficamente la función?',...
           'Representación Gráfica de la Función','Si','No','No');
    if strcmp(button,'Si')
       respuesta = 1;
    elseif strcmp(button,'No')
       respuesta = 0;
    end

   funcion = fichero_seleccionado;

   if respuesta == 1  % Si se ha elegido la opción para REPRESENTAR GRÁFICA.
       [xx, yy, x_ini, y_ini, yy_ini] = Representar_Funcion_Original(Entrada_Datos,
funcion);

   end

   clc;
```

```
end
```

20 Obtener_Hilbert_Huang_Actualizada

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% TENIENDO EN CUENTA LOS DATOS DEL CICLO ANTERIOR Y DE LA MEDIA DE LAS    %
% ENVOLVENTES OBTENIDA EN EL CICLO ACTUAL, SE OBTIENEN LOS NUVEOS DATOS.  %
%-------------------------------------------------------------------------%

function h = Obtener_Hilbert_Huang_Actualizada(h_ant, yy, es_componentes,
ei_componentes, x_ini)

       % ------------------------------------------------------------------
       % Se obtiene la matriz que contiene la media de las envolventes
       % Superior e Inferior.
       % ------------------------------------------------------------------

        media = [];
 %       media(:,1) = es_componentes(:,1); % = ei_xxm (Son los tiempos de
 %       las abscisas).                                  % FHM 04.11.2015.
        media(:,1) = x_ini;                              % FHM 04.11.2015.
        media(:,2) = (es_componentes(:,2) + ei_componentes(:,2))/2;

       % ------------------------------------------------------------------
       % Por si deseamos representar gráficamente la media de las
       % envolventes (Superior e Inferior).
       % ------------------------------------------------------------------

       % med_xx = min(media(:,1)):1.2500e-05:max(media(:,1));
 %       med_xx = min(media(:,1)):0.005:max(media(:,1)); % NO SE PUEDE
 %       SPLINES.                                        % FHM 04.11.2015.
        med_xx = x_ini;                                  % FHM 04.11.2015.
        med_yy = spline(media(:,1),media(:,2),med_xx);
     %   plot(med_xx,med_yy,'m');     % <FHM 16.06.2015>

       % ------------------------------------------------------------------
       % Después de obtener la media de las envolventes, hay que hallar
       % la diferencia de amplitud entre la función original (o función
       % anterior) y la media que se acaba de obtener.
       % El resultado se devuelve a la función principal, para que utilice
       % este resultado como entrada en alguno de sus sub-procesos.
       % ------------------------------------------------------------------

        h = [];
        h(:,1) = med_xx;
        h(:,2) = yy - med_yy;

       % ------------------------------------------------------------------
       % Por si deseamos representar gráficamente la nueva función
       % obtenida, como resultado de la diferencia anterior.
       % ------------------------------------------------------------------

       % h_xx = min(h(:,1)):1.2500e-05:max(h(:,1));
       % h_xx = min(h(:,1)):0.005:max(h(:,1)); % NO SE PUEDE SPLINES. SÓLO
       % LAS ABSCISAS ORIGINALES.                        % FHM 04.11.2015.
        h_xx = x_ini;                                    % FHM 04.11.2015.
        h_yy = spline(h(:,1),h(:,2),h_xx);
     %   plot(h_xx,h_yy,'k');     % <FHM 16.06.2015>
```

```
end
```

21 Obtener_Maximos_Minimos

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% OBTENCIÓN DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS A PARTIR DE LOS PARES (TIEMPO,AMPLITUD). %
%-------------------------------------------------------------------------%


function [Maximos, Minimos] = Obtener_Maximos_Minimos(t, p)

N = length(p);

d = diff(p); % Diferencias entre pares de posiciones. Para determinar los extremos
relativos.

maxmin = []; % Matriz que almacena los extremos relativos (Máximos y Mínimos).

ind_extremo = 0;
extremos = [];
t_aux = []; % Tiempos en los que se registra Extremo Relativo.
p_aux = []; % Posición que ocupa el Extremo Relativo.
signo_curva = []; % Para determinar si se trata de máximo o mínimo relativo.
ind_max = 0;
ind_min = 0;
ind_maximos = [];
ind_minimos = [];
tie_maximos = [];
tie_minimos = [];
pos_maximos = [];
pos_minimos = [];

% ------------------------------------------------------------------------
% Obtención de los Índices para los Extremos Relativos de la Función.
% ------------------------------------------------------------------------

for i=1:N-2
    if d(i)==0
        maxmin = [maxmin, i];
    elseif sign(d(i))~=sign(d(i+1))
        maxmin = [maxmin, i+1];
    end
end

% ------------------------------------------------------------------------
% Obtención de Extremos Relativos de la Función asociados a Índices ant.
% ------------------------------------------------------------------------

num_extremos = length(maxmin);
for j=1:num_extremos
    jj = maxmin(j);
    ind_extremo = ind_extremo + 1;
    extremos(ind_extremo) = maxmin(j);
    t_aux(ind_extremo) = t(maxmin(j));
    p_aux(ind_extremo) = p(maxmin(j));
    for k=1:N-1
        if k==jj
           intervalo_1 = p(k) - p(k-1);
           intervalo_2 = p(k+1) - p(k);
           if intervalo_1 > 0 && intervalo_2 < 0
```

```
                signo_curva(ind_extremo) = -1;  % El -1 nos marcará un MÁXIMO.
            elseif intervalo_1 < 0 && intervalo_2 > 0
                signo_curva(ind_extremo) = 1;  % El 1 nos marcará un MÍNIMO.
            end
        end
    end
end

% ------------------------------------------------------------------------
% De entre todos los Extremos Relativos encontrados para la Función,
% determinación de cuáles son Máximos y cuáles son Mínimos Relativos.
% ------------------------------------------------------------------------

for i=1:num_extremos
   if signo_curva(i) < 0
        ind_max = ind_max + 1;
        ind_maximos(ind_max) = extremos(i);
        tie_maximos(ind_max) = t_aux(i);
        pos_maximos(ind_max) = p_aux(i);
   else
        ind_min = ind_min + 1;
        ind_minimos(ind_min) = extremos(i);
        tie_minimos(ind_min) = t_aux(i);
        pos_minimos(ind_min) = p_aux(i);
   end
end

% ---------------------------------------------------------------------
% Ya están obtenidos los máximos y mínimos de la curva original.
% ---------------------------------------------------------------------
Maximos = [];
Minimos = [];
Maximos = horzcat(tie_maximos', pos_maximos');
Minimos = horzcat(tie_minimos', pos_minimos');

end
```

22 Obtener_Tiempo_Maximo_Disrupcion

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% DADO EL INSTANTE EN EL QUE SE PRODUCE LA DISRUPCIÓN, HAY QUE ENCONTRAR  %
% DENTRO DE CADA DESCARGA EL INSTANTE PREVIO A DICHA DISRUPCIÓN.          %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Tiempo_Maximo_Disrupcion()

  close all;
  clear all;
  clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

  format short e;

  indicador_seleccion = 0;

  [descarga, num_disruptivas_no_intencionadas] = Seleccion_Disruptivas_No_Intencionadas(
)

  % Volcado del vector de descarga a ListBox o Table.
```

```
 Figura = figure('Position', [50, 50, 1200, 700],...
                 'Name', 'Tabla Disrupciones No Intencionadas',... % Título de la Figura.
                 'NumberTitle', 'off',... % No muestra ningún número.
                 'Color', 'w',...
                 'MenuBar', 'none'); % Oculta el menú estándar de la barra de menús.
for i = 1:num_disruptivas_no_intencionadas
   Datos(i,1) = descarga(i)';
end
% display(Datos);

NombreColumna = {'Descarga'};
FormatoColumna = {'short'};

% Selección del ancho de las columnas (en pixels).
AnchoColumnas = {60};

Tabla = uitable(Figura,... %'Units','normalized',...
                 'Position',[5 5 130 690],...
                 'Data',Datos,...
                 'ColumnName',NombreColumna,...
                 'ColumnFormat',FormatoColumna,...
                 'ColumnEditable',false,...
                 'CellSelectionCallback',{@select_callback},...
                 'ColumnWidth', AnchoColumnas);

  function select_callback(hObject, eventdata)

        % Obtiene la lista actual de celdas seleccionadas en la tabla.
        sel = eventdata.Indices;     % Obtiene indices (fila, columna)
        selrows = unique(sel(:,1));  % Si se hiciera más de una selección,
                                     % sólo se tendría en cuenta la 1ª.

        indicador_seleccion = 1;
        sel_descarga = Datos(sel(1),1);

        % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---
        if indicador_seleccion == 1
          [fichero, ruta] = uigetfile( ...
         {'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
          'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
          '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
          '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
          '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
          '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
          '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
          '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
          'Seleccione un Fichero para Obtener Tiempo Máximo de Disrupción');

         % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

         if isequal(fichero,0)
           warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
         else
           fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
           fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
           formato = '%g\t %g\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que
fue escrito.
           dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
           Datos2 = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
           fclose(fichero_lectura);
           Datos2 = Datos2'; % Transposición matriz a [Inf 2].
           [m, n] = size(Datos2);   % Captura las dimensiones de la matriz.

           I = find(Datos2(:,1) == sel_descarga);
           if numel(I) ~= 0 % Si se ha encontrado coincidencia.
             NDes = Datos2(I,1);
```

```
            TMax = Datos2(I,2);
            format long g; % Es la notación que mejor refleja el número de
                           % disrupción, y el instante máximo en que
                           % aparece.
            % display(horzcat(NDes,TMax));
            [fichero2,ruta] = uiputfile('*.txt','Guardar Fichero de Datos como ...');

            if isequal(fichero2,0)
              % disp('Ha sido seleccionada la opción Cancelar');
              warndlg('El fichero no ha sido guardado','¡¡ Advertencia !!')
            else
              fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero2);
              %disp(fichero_seleccionado);
              fi = fopen(fichero_seleccionado, 'w');
              fprintf(fi,'%g\t %g\n', NDes,TMax);
              fclose(fi);
              linea1 = 'El fichero indicado ha sido guardado satisfactoriamente como
:';
              linea2 = strcat('', fichero_seleccionado);
              warndlg({linea1;linea2},'¡¡ Atención !!');
            end
          end
        end
      end
  end
end
```

23 Reconstruir_Funcion_Original

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% UNA VEZ REALIZADA LA DESCOMPOSICIÓN DE MODO EMPÍRICO Y OBTENIDAS TODAS   %
% LAS IMFs Y ÚLTIMO RESIDUO, SE TIENEN EN CUENTA TODOS LOS ELEMENTOS       %
% ANTERIORES, PARA VERIFICAR QUE LA SUMA DE TODOS ELLOS COINCIDE CON LOS   %
% DATOS DE LA FUNCIÓN PREVIOS A LA DESCOMPOSICIÓN DE MODO EMPÍRICO.        %
%--------------------------------------------------------------------------%

function z = Reconstruir_Funcion_Original(Entrada_Datos, Resto, imfy, C, xx)

    Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con pantalla
maximizada.
      'Name', 'Gráfica de la Función Inicial Reconstruida ',...          % Título de la
Figura.
      'NumberTitle', 'off',...                          % No muestra ningún número.
      'Color', 'w');        % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder
visualizar menú.

        PosicionInferior = min(Entrada_Datos(:,2));
        PosicionSuperior = max(Entrada_Datos(:,2));
        TiempoMinimo = min(Entrada_Datos(:,1));
        TiempoMaximo = max(Entrada_Datos(:,1));

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [TiempoMinimo TiempoMaximo],...
            'YLim', [PosicionInferior PosicionSuperior],...
            'XLimMode', 'manual',...
            'YLimMode', 'manual');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Amplitud','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
```

```
        title(Ejes, 'Función Original Reconstruida',...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
        hold(Ejes, 'all');

        z = []

        z(:,1) = Resto;
        for i=1:imfy
            z(:,1) = z(:,1) + C(:,i);
        end

        plot(xx,z','c','LineWidth',3); % Representa el resultado de la diferencia entre
el ciclo anterior y la última IMF obtenida.


        % ------------------------------------------------------------------
        % Comprobación de Solapamiento Perfecto entre la gráfica de la
        % función original y la gráfica reconstruida con las IMF's
        % obtenidas y el último residuo.
        % ------------------------------------------------------------------
        pause(2);
        % hold on;
        x = Entrada_Datos(:,1);
        y = Entrada_Datos(:,2);
        x_ini = x';
        y_ini = y';
        % xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini);
   %     xx = min(x_ini):0.005:max(x_ini);     % FHM 05.11.2015.
        xx = x_ini;                           % FHM 05.11.2015.
        yy = spline(x_ini, y_ini, xx);

        plot(xx,yy,':k','LineWidth',1.5);


end
```

24 Representacion_Conjunta_IMFs

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% FINALIZADA LA DESCOMPOSICIÓN DE MODO EMPÍRICO, SE MUESTRA EN UNA GRÁFICA%
% UNIFICADA EL CONJUNTO DE LAS IMF'S OBTENIDAS(De mayor a menor frecuenc.)%
%-------------------------------------------------------------------------%

function Representacion_Conjunta_IMFs(Entrada_Datos, contador_imf, imfy, xx, C)
    Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con pantalla
maximizada.
                'Name', 'Evolución de los IMFs          ',...            % Título de la
Figura.
                'NumberTitle', 'off',...            % No muestra ningún número.
                'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder
ver menú.

                PosicionInferior = min(Entrada_Datos(:,2));
                PosicionSuperior = max(Entrada_Datos(:,2));
                TiempoMinimo = min(Entrada_Datos(:,1));
                TiempoMaximo = max(Entrada_Datos(:,1));
                Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
                'XLim', [-inf inf],...
                'YLim', [-inf inf],...
                'XLimMode', 'auto',...
```

```
                'YLimMode', 'auto');
                xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                ylabel('Amplitud','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                grid;
                imf = strcat('Evolución de los IMFs : ', num2str(contador_imf));
                title(Ejes, imf,...
                    'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
                hold(Ejes, 'all');
                for indice=1:imfy
                    subplot(imfy,1,indice);
                    plot(xx,C(:,indice),'r');
                    axis([-inf inf -inf inf]);
                end

end
```

25 Representacion_Conjunta_Residuos

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% FINALIZADA LA DESCOMPOSICIÓN DE MODO EMPÍRICO, SE MUESTRA EN UNA GRÁFICA%
% UNIFICADA EL CONJUNTO DE LOS RESIDUOS OBTENIDOS.                        %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Representacion_Conjunta_Residuos(Entrada_Datos, contador_imf, imfy, xx, R)
    Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con pantalla
maximizada.
                'Name', 'Evolución de los Resíduos de los IMFs          ',...  % Título
Figura.
                'NumberTitle', 'off',...                                % No muestra
ningún número.
                'Color', 'w');  % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder
ver menú.

                PosicionInferior = min(Entrada_Datos(:,2));
                PosicionSuperior = max(Entrada_Datos(:,2));
                TiempoMinimo = min(Entrada_Datos(:,1));
                TiempoMaximo = max(Entrada_Datos(:,1));
                Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
                'XLim', [-inf inf],...
                'YLim', [-inf inf],...
                'XLimMode', 'auto',...
                'YLimMode', 'auto');
                xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                ylabel('Amplitud','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                grid;
                imf = strcat('Evolución de los Resíduos de los IMFs : ',
num2str(contador_imf));
                title(Ejes, imf,...
                    'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
                hold(Ejes, 'all');
                for indice=1:imfy
                    subplot(imfy,1,indice);
                    plot(xx,R(:,indice),'b');
                    axis([-inf inf -inf inf]);
                end

end
```

26 Representar_Envolventes_Media

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% REPRESENTACIÓN DE LA MEDIA DE LAS ENVOLVENTES SUPERIOR E INFERIOR.       %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Representar_Envolventes_Media(xx, yy, contador_imf, contador_subimf)

    Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con pantalla
maximizada.
        'Name', 'Gráfica de la Función Filtrada          ',...          % Título de la
Figura.
        'NumberTitle', 'off',...                    % No muestra ningún número.
        'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder
visualizar menú.

        PosicionInferior = min(yy);
        PosicionSuperior = max(yy);
        TiempoMinimo = min(xx);
        TiempoMaximo = max(xx);

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
                'XLim', [TiempoMinimo TiempoMaximo],...
                'YLim', [PosicionInferior PosicionSuperior],...
                'XLimMode', 'manual',...
                'YLimMode', 'auto');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Amplitud','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        iteracion = strcat('IMF : ', num2str(contador_imf+1), ' SUB-IMF : ',
num2str(contador_subimf));
        title(Ejes, iteracion,...
              'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
        hold(Ejes, 'all');

        plot(xx,yy,'b');

end
```

27 Representar_Funcion_Original

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% DADA UNA DESCARGA ORIGINAL SELECCIONABLE, SE PROCEDE A SU REPRESENTACIÓN%
% GRÁFICA.                                                                 %
%--------------------------------------------------------------------------%
```

```
function [xx, yy, x_ini, y_ini, yy_ini] = Representar_Funcion_Original(Entrada_Datos,
funcion)

    Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con pantalla
maximizada.
            'Name', 'Gráfica de la Función Inicial',...               % Título de la
Figura.
            'NumberTitle', 'off',...                                  % No muestra
ningún número.
            'Color', 'w');   % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder ver
menú.
        PosicionInferior = min(Entrada_Datos(:,2));
        PosicionSuperior = max(Entrada_Datos(:,2));
        TiempoMinimo = min(Entrada_Datos(:,1));
        TiempoMaximo = max(Entrada_Datos(:,1));

        Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
            'XLim', [TiempoMinimo TiempoMaximo],...
            'YLim', [PosicionInferior PosicionSuperior],...
            'XLimMode', 'manual',...
            'YLimMode', 'manual');
        xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        ylabel('Amplitud','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
        grid;
        title(Ejes, funcion,...
             'Color','m','fontweight','bold','fontsize',12);
        hold(Ejes, 'all');

        x = Entrada_Datos(:,1); % Recoge el valor de todos los instantes.
        y = Entrada_Datos(:,2); % Recoge el valor de la función en cada instante.
        x_ini = x'; % Con el símbolo -'- se está TRASPONIENDO -x-.
        y_ini = y'; % Copia la señal de entrada como un vector fila.
        % xx = min(x_ini):0.005:max(x_ini);     % FHM 05.11.2015.
        % xx = min(x_ini):1.2500e-05:max(x_ini);
                                % Recoge los puntos límite entre intervalos según el
instante.
        xx = x_ini;                             % FHM 05.11.2015.
        yy = spline(x_ini,y_ini,xx); % Obtiene el valor del spline evaluando en cada
punto xx.
          yy_ini = yy';

        plot(xx,yy,'b');

end
```

28 Representar_IMF

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% A MEDIDA QUE SE VAN OBTENIENDO LAS FUNCIONES DE MODO INTRÍNSECO (IMFs)   %
% SE REPRESENTA GRÁFICAMENTE.                                              %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Representar_IMF(h, contador_imf, xx, yy)

        Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...   % Con
```

```
pantalla maximizada.
                'Name', 'Gráfica de la Función IMF          ',...         % Título de la
Figura.
                'NumberTitle', 'off',...                          % No muestra ningún
número.
                'Color', 'w');  % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder
ver menú.

            %     PosicionInferior = min(h(:,2));    % <FHM 17.06.2015>.
            %     PosicionSuperior = max(h(:,2));    % <FHM 17.06.2015>.
            %     TiempoMinimo = min(h(:,1));        % <FHM 17.06.2015>.
            %     TiempoMaximo = max(h(:,1));        % <FHM 17.06.2015>.

                  PosicionInferior = min(yy);    % <FHM 17.06.2015>.
                  PosicionSuperior = max(yy);    % <FHM 17.06.2015>.
                  TiempoMinimo = min(xx);        % <FHM 17.06.2015>.
                  TiempoMaximo = max(xx);        % <FHM 17.06.2015>.


                Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
                'XLim', [TiempoMinimo TiempoMaximo],...
                'YLim', [PosicionInferior PosicionSuperior],...
                'XLimMode', 'manual',...
                'YLimMode', 'manual');
                xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                ylabel('Amplitud','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                grid;
                imf = strcat('IMF : ', num2str(contador_imf));
                title(Ejes, imf,...
                    'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
                hold(Ejes, 'all');

                plot(xx,yy,'r'); % Representa el resultado de la última iteración del
bucle interno.

end
```

29 Representar_Residuo

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% A MEDIDA QUE SE VAN OBTENIENDO LAS FUNCIONES DE MODO INTRÍNSECO (IMFs)  %
% SE REPRESENTA GRÁFICAMENTE SU RESIDUO RESULTANTE.                       %
%-------------------------------------------------------------------------%

function [r, Resto, yy, yy_ini] = Representar_Residuo(h, contador_imf, yy_ini, xx, yy)

        Figura = figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],...    % Con
pantalla maximizada.
                'Name', 'Gráfica de la Función Residual IMF          ',... % Título de
la Figura.
                'NumberTitle', 'off',...             % No muestra ningún número.
```

```
                'Color', 'w'); % Color blanco. No se pone 'MenuBar','none'; para poder
ver menú.

                PosicionInferior = min(h(:,2));
                PosicionSuperior = max(h(:,2));
              %  TiempoMinimo = min(h(:,1));     % <FHM 17.06.2015>.
              %  TiempoMaximo = max(h(:,1));     % <FHM 17.06.2015>.
                TiempoMinimo = min(xx);          % <FHM 17.06.2015>.
                TiempoMaximo = max(xx);          % <FHM 17.06.2015>.

                Ejes = axes('Units', 'normalized','outerposition',[0 0 1 1],...
                'XLim', [TiempoMinimo TiempoMaximo],...
                'YLim', [PosicionInferior PosicionSuperior],...
                'XLimMode', 'manual',...
                'YLimMode', 'auto');
                % Se ha cambiado 'manual' por 'auto' <FHM 17.06.2015> para ajustar
verticalmente a la ventana.
                xlabel('Tiempo','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                ylabel('Amplitud','Color','b','fontweight','bold','fontsize',15);
                grid;
                imf = strcat('Resíduo de IMF : ', num2str(contador_imf));
                title(Ejes, imf,...
                    'Color','m','fontweight','bold','fontsize',15);
                hold(Ejes, 'all');
                r = yy_ini - yy';
             %   R(:,contador_imf) = r; % Nos da la posición, y la añadimos el nuevo
resíduo encontrado.
                Resto = [];  % El nuevo resíduo, sustituye al anterior.
                Resto = r;
                yy = r';
                yy_ini = yy';
                plot(xx,yy,'b');
                 % Representa el resultado de la diferencia entre el ciclo anterior y la
última IMF obtenida.

end
```

30 Seleccion_Disruptivas_No_Intencionadas

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% DEL CONJUNTO TOTAL DE DESCARGAS, SE MOSTRARÁN PARA SER SELECCIONADAS     %
% AQUELLAS QUE SEAN DISRUPTIVAS NO INTENCIONADAS.                          %
%--------------------------------------------------------------------------%

function [descarga, num_disruptivas_no_intencionadas] =
Seleccion_Disruptivas_No_Intencionadas( )

  close all;
  clear all;
  clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
```

```
  format short e;

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

  [fichero, ruta] = uigetfile( ...
  {'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
   'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

  if isequal(fichero,0)
    warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
  else
    fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
    fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
    formato = '%g\t %g\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos1 = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    fclose(fichero_lectura);
    Datos1 = Datos1'; % Transposición matriz a [Inf 2].
    [m, n] = size(Datos1);   % Captura las dimensiones de la matriz.

    I = find(Datos1(:,2) == 1);
    if numel(I) ~= 0 % Si se ha encontrado coincidencia.
       descarga = Datos1(I,1);
    end
  end
  num_disruptivas_no_intencionadas = length(descarga);

end
```

31 Seleccion_No_Disruptivas

```
%--------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE     %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería       %
% Informática de la UNED.                                                  %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con  %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                               %
% DEL CONJUNTO TOTAL DE DESCARGAS, SE MOSTRARÁN PARA SER SELECCIONADAS     %
% AQUELLAS QUE SEAN NO DISRUPTIVAS.                                        %
%--------------------------------------------------------------------------%

function Seleccion_No_Disruptivas( )

  close all;
  clear all;
  clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.
```

```
  format short e;

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

  [fichero, ruta] = uigetfile( ...
  {'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
   'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');

  % --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

  if isequal(fichero,0)
    warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
  else
    fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
    fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
    formato = '%g\t %g\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos1 = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    fclose(fichero_lectura);
    Datos1 = Datos1'; % Transposición matriz a [Inf 2].
    [m, n] = size(Datos1);   % Captura las dimensiones de la matriz.

    Descargas_No_Disruptivas = [];
    I = find(Datos1(:,2) == 0);
    if numel(I) ~= 0 % Si se ha encontrado coincidencia.
       Descargas_No_Disruptivas = Datos1(I,1);
    end
  end
  % disp(Descargas_No_Disruptivas);
  xlswrite('Descargas_No_Disruptivas.xlsx', Descargas_No_Disruptivas);
end
```

32 Separar_IMFs

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% UNA VEZ OBTENIDO EL CONJUNTO TOTAL DE IMFs PARA CADA DESCARGA, SE       %
% PROCEDERÁ A LA SEPARACIÓN DE LAS IMFs EN TANTOS FICHEROS COMO           %
% FUNCIONES DE MODO INTRÍNSECO TENGA DICHA DESCARGA.                      %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Separar_IMFs()

close all;
clear all;
```

```
clc;           % Limpia pantalla anterior, para nueva ejecución.

format short e;

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- inicio ---

[fichero, ruta] = uigetfile( ...
{'*.txt;*.m;*.fig;*.mat;*.slx;*.mdl',...
 'Ficheros MATLAB (*.txt,*.m,*.fig,*.mat,*.slx,*.mdl)';
   '*.txt','Ficheros de Texto (*.txt)'; ...
   '*.m',  'Ficheros de Código (*.m)'; ...
   '*.fig','Figuras (*.fig)'; ...
   '*.mat','Ficheros-MAT (*.mat)'; ...
   '*.mdl;*.slx','Modelos (*.slx, *.mdl)'; ...
   '*.*',  'Todos los Ficheros (*.*)'}, ...
   'Seleccione un Fichero para la Lectura de Datos');

% --- Solicitud para leer datos desde fichero de texto --- fin ---

if isequal(fichero,0)
   warndlg({'No ha sido seleccionado ningún';'fichero, para su lectura.';},'¡¡
Advertencia !!');
else
   fichero_seleccionado = fullfile(ruta, fichero);
   fichero_lectura_previo = fopen(fichero_seleccionado,'r');
%   formato = '%f\t %f\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato con el que fue
escrito.
%   dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
%   Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
%   fclose(fichero_lectura);
%   Entrada_Datos = Entrada_Datos'; % Transposición matriz a [Inf 2].
%   [m, n] = size(Entrada_Datos);   % Captura las dimensiones de la matriz.
   formato = '%g';
   dimensiones = [1 Inf];
   Entrada_Dat = fscanf(fichero_lectura_previo,formato,dimensiones);
   fclose(fichero_lectura_previo);
   Entrada_Dat = Entrada_Dat';
   numero_valores = length(Entrada_Dat);
   numero_columnas = numero_valores / 1024;

   % display(horzcat(numero_valores, numero_columnas));

   ncolumnas = 0;
   fichero_lectura = fopen(fichero_seleccionado,'r');
   switch numero_columnas
    case 4
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [4 Inf];
        ncolumnas = 4;
    case 5
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [5 Inf];
        ncolumnas = 5;
    case 6
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [6 Inf];
        ncolumnas = 6;
    case 7
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [7 Inf];
        ncolumnas = 7;
    case 8
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [8 Inf];
        ncolumnas = 8;
    case 9
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [9 Inf];
```

```
        ncolumnas = 9;
    case 10
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [10 Inf];
        ncolumnas = 10;
    case 11
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [11 Inf];
        ncolumnas = 11;
    case 12
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [12 Inf];
        ncolumnas = 12;
    case 13
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [13 Inf];
        ncolumnas = 13;
    case 14
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\n';
        dimensiones = [14 Inf];
        ncolumnas = 14;
    case 15
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\n';
        dimensiones = [15 Inf];
        ncolumnas = 15;
    case 16
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\n';
        dimensiones = [16 Inf];
        ncolumnas = 16;
    case 17
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [17 Inf];
        ncolumnas = 17;
    case 18
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [18 Inf];
        ncolumnas = 18;
    case 19
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [19 Inf];
        ncolumnas = 19;
    case 20
        formato = '%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\t
%f\t %f\t %f\t %f\t %f\t %f\n';
        dimensiones = [20 Inf];
        ncolumnas = 20;
    otherwise
        warning('Dimensiones no esperadas. No se creará espectrograma.');
end

Entrada_Datos = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones);
fclose(fichero_lectura);
Entrada_Datos = Entrada_Datos';


Tiempos = [];
IMFs = [];
numero_IMFs = ncolumnas - 3;
Tiempos = Entrada_Datos(:,ncolumnas);
contador = 1;

% Extrae tantos ficheros como IMF's ha generado el algoritmo para cada
% descarga.
```

```
    for i=1:numero_IMFs
        contador = contador + 10;
        cont = num2str(contador);
        IMFs(:,i) = Entrada_Datos(:,i);
       % fich = fichero_seleccionado(1:60);
        fich = fichero_seleccionado(1:75); % Para este directorio cambía.
        fichero = strcat(fich,'I',cont,'.txt');

        fi = fopen(fichero,'w');
        for k=1:1024
            fprintf(fi,'%.10e\t %+.15e\n', Tiempos(k),IMFs(k,i));
        end
        fclose(fi);
    end

end
```

33 Obtener_Datos_A_Clasificar_2

```
%-------------------------------------------------------------------------%
% Proyecto de FIN DE MASTER correspondiente al MASTER EN INGENIERÍA DE    %
% SISTEMAS Y DE CONTROL de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería      %
% Informática de la UNED.                                                 %
% Trabajo realizado por el alumno: FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ MARTÍN, con %
% D.N.I. número: 07.951.952.                                              %
% CLASIFICACIÓN DEL CONJUNTO DE LAS DESCARGAS MEDIANTE LAS FUNCIONES      %
% Matlab : pdist + linkage + cluster y pdist + linkage + dendrogram.      %
%-------------------------------------------------------------------------%

function Obtener_Datos_A_Clasificar_2()

  format long e; % Con exponente y con 15 dígitos decimales.

  nombre_archivos = '*I11.txt';
  files = dir(nombre_archivos);

  Datos_Salida = [];
  Descarga = [];

  for i=1:length(files)
  % for i = 1:2
```

```
    fid(i)=fopen(files(i).name);
    desc = files(i).name (1:5);
    numer = str2num(desc);
    Descarga(i) = numer;
   % display(files(i).name);
    fichero_lectura = fopen(files(i).name,'r');
    formato = '%e\t %e\n'; % Lectura del fichero con el mismo formato que fue escrito.
    dimensiones = [2 Inf]; % Consideramos tamaño infinito para una de ellas.
    Datos_Aux = fscanf(fichero_lectura,formato,dimensiones); % Deja el contenido del
fichero en una matriz.
    Datos_Aux = Datos_Aux';
    tamanio = length(Datos_Aux(:,1));
    fclose(fichero_lectura);
    contador = 0;
    Datos_E = [];
    for j=1:tamanio
       contador = contador + 1;
       Datos_E(contador) = Datos_Aux(j,2);
    end
    Datos_Salida(i,:) = Datos_E;

   % tamanio_s = length(Datos_E);
   % for k = 1:tamanio_s
   %   fprintf(fi,'%+.15e\t',Datos_Salida(k,i));
   % end

 end

 X = Datos_Salida;
 Y = pdist(X,'euclidean'); % Distancia Euclídea entre muestras(observaciones).
 % Z = linkage(Y,'single');  % Cluster Jerárquico en árbol según la distancia más
                            % próxima.
 Z = linkage(Y,'centroid');  % Cluster Jerárquico en árbol según el centroide más
próximo.

 C = cluster(Z,'maxclust',15); % Construye un máximo de K clusters utilizando la
                               % distancia como criterio.
 [IdLinea,Clase] = dendrogram(Z,15); % Genera la gráfica del
                 % dendrograma, y devuelve la clase a la que pertenece cada descarga.

 % display(Clase);

 Descarga = Descarga';

 Matriz_Pertenencia_Descargas = [];
 Matriz_Pertenencia_Descargas(:,1) = Descarga;
 Matriz_Pertenencia_Descargas(:,2) = C;
 % display(Matriz_Pertenencia_Descargas);
 Matriz_Pertenencia_Descargas_Dendrograma = [];
 Matriz_Pertenencia_Descargas_Dendrograma(:,1) = Descarga;
 Matriz_Pertenencia_Descargas_Dendrograma(:,2) = Clase;

 % xlswrite('Solucion_Pertenencia_K_2_Final.xlsx', Matriz_Pertenencia_Descargas);

 vectorNoRepetido=unique(C); % Con este vector se analiza uno a uno los elementos.
 vectorNoRepetido = sort(vectorNoRepetido);
 ocurrencias=zeros(numel(vectorNoRepetido),1); % Preallocation for speed.
 for i=1:numel(vectorNoRepetido)
  mask=C==vectorNoRepetido(i); % Esto da un vector con 1 en las ocurrencias y ceros
donde no hay coincidencia.
  ocurrencias(i)=nnz(mask);
 end
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase = [];
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase(:,1) = vectorNoRepetido;
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase(:,2) = ocurrencias;
 xlswrite('Solucion_Total_Descargas_Por_Clase_K_15_Cluster_Final.xlsx',
Matriz_Total_Descargas_Por_Clase);

 vectorNoRepetidoDendrograma=unique(Clase); % Con este vector se analiza uno a uno los
```

```
elementos.
 vectorNoRepetidoDendrograma = sort(vectorNoRepetidoDendrograma);
 ocurrenciasDendrograma=zeros(numel(vectorNoRepetidoDendrograma),1); % Preallocation for
speed.
 for i=1:numel(vectorNoRepetidoDendrograma)
  mask=Clase==vectorNoRepetidoDendrograma(i); % Esto da un vector con 1 en las
ocurrencias y ceros donde no hay coincidencia.
  ocurrenciasDendrograma(i)=nnz(mask);
 end
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase_Dendrograma = [];
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase_Dendrograma(:,1) = vectorNoRepetidoDendrograma;
 Matriz_Total_Descargas_Por_Clase_Dendrograma(:,2) = ocurrenciasDendrograma;
 xlswrite('Solucion_Total_Descargas_Por_Clase_K_15_Dendrograma_Final.xlsx',
Matriz_Total_Descargas_Por_Clase_Dendrograma);

end
```