



Ajuste de los parámetros de los grupos generadores de un sistema eléctrico insular

Autor: Ignacio Pastor Escribano

Director: Lukas Sigríst

Proyecto Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electromecánica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería(ICAICA)

29 de junio de 2017

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
*Ajuste de los parámetros de los grupos generadores de un sistema
eléctrico insular*

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2016/2017 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Ignacio Pastor Escribano

Fecha: 29/ 06/ 2017



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Lukas Sigrist

Fecha: 29/ 06/ 2017

RESUMEN

Los sistemas eléctricos insulares son especialmente sensibles a desequilibrios entre generación y demanda. Un déficit de generación causa que la frecuencia se desvíe de su valor nominal y cae.

Para poder analizar correctamente la respuesta del sistema eléctrico insular ante una perturbación se requiere unos modelos que reflejen lo mejor posible las respuestas reales. El objetivo de este PFG es ajustar los parámetros de los grupos generadores de un sistema eléctrico insular. El ajuste de los parámetros se realiza mediante una identificación paramétrica. Se estudian varios tipos de modelos para representar el grupo generador. La identificación paramétrica se formulará como un problema de optimización.

En concreto, el presente Proyecto Fin de Grado analiza el Sistema Eléctrico de la Isla de La Palma, la cual cuenta con una única central, la Central Eléctrica de Endesa de Los Guinchos. Esta Central cuenta con diez generadores de tipo diésel y una turbina de vapor de 22 MW.

Son precisamente los diez generadores los que se analizarán, cuando estos se desconectan de la red. Para ello se realizarán distintos ajustes del modelo en cuestión, desarrollando un software. Estos ajustes se harán mediante un ajuste de parámetros, haciendo coincidir este ajuste con unas medidas reales del desvío de frecuencia realizadas en Los Guinchos. Las medidas las realizaron empleados de Endesa en La Central, desconectando uno a uno los diez generadores y midiendo el desvío de frecuencia producido en la red.

Se realizará un ajuste por cada ensayo realizado, y a continuación un ajuste simultáneo, que se hará haciendo uso de la media de todos los ensayos. Finalmente se compararán ambos ajustes, analizando el error que presentan y concluyendo cual es mejor.

El ajuste será resuelto mediante el método de los mínimos cuadrados. Esta es una potente herramienta para análisis de modelos, aunque en algunos casos se observará que presenta errores. Por ello es importante, saber descartar aquellos ajustes que no sean buenos.

Como último apunte es importante señalar que la herramienta desarrollada es válida para cualquier generador eléctrico de tipo diésel siempre que se hagan unos pequeños cambios en el programa.

El programa informático en el que se han realizado las simulaciones es MATLAB R2016b, el cual usa un modelo realizado con Simulink.

ABSTRACT

The isolated power systems are especially sensitive to imbalances between the generation and consumption of electrical energy. A shortfall in generation causes the frequency deviates from its nominal value and decays.

For a proper analysis of the answer of the isolated power system when an instability occurs, some models are required to represent the real answer in the best way. The objective of this Bachelor's Thesis is to adjust the parameters of the power generating sets of an isolated power system. This adjustment is made through a parametric identification. Different types of models will be studied to represent the generating sets. This parametric identification will be formulated as an optimization problem.

Particularly, this Thesis is based on the Electric Power System of La Palma Island, Canary Islands, which only have one Power Plant, Endesa Los Guinchos Power Plant. This Plant contains ten diesel generators and one steam turbine of 22 MW.

The ten generators are precisely the purpose of analysis, when one of these is disconnected from the system. For this purpose, different adjustments of the model will be carried on, developing a software to do it. This parameter identification will be made by matching as much as possible the model with some measurements of the frequency deviation. These measurements were made by disconnecting one by one the ten generators and afterwards measuring the frequency deviation. The results were repeated more than one time.

There will be one adjustment per trial, and then other adjustment making use of the mean of all the measurements. Finally, both adjustments will be compared, analysing the total error, and concluding which one is better.

The adjustment will be made by the least squares method. This is powerful tool for the analysis of models, but in some cases, it contains errors. So, it is important being able to exclude those bad adjustments.

As an additional and final note, it is important to point that the tool developed is applicable in any diesel generator, just by making small changes in the programme.

The IT software used for this parameter identification is MATLAB R2016b, which uses a model developed in Simulink.

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1ª. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Ignacio Rafael Pastor Escribano DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: *Ajuste de los parámetros de los grupos generadores de un sistema eléctrico insular*, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2ª. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3ª. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4ª. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la

misma

- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los

usuarios hagan uso de las obras.

- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 29 de junio de 2017

ACEPTA: Ignacio Pastor Escribano

Firmado:

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'I. Pastor Escribano', written in a cursive style.

A mis padres y hermanos,
por confiar en mí en todo momento

AGRADECIMIENTOS

En este punto quería agradecer a todas las personas que me han ayudado en la realización de este Proyecto Fin de Grado, así como durante los últimos cinco años en los que he estado realizando el Grado en Ingeniería Electromecánica, sin las cuales no podría haber llegado hasta este punto.

En primer lugar, quería agradecer todo el conocimiento aportado a mi Director de Proyecto, Lukas Sigrist, el cual me ha ayudado en todo momento, y ha sabido realizar la difícil tarea de guiar un proyecto a distancia. Durante la realización de éste, me encontraba en Seúl, Corea del Sur, por lo que, no sólo la distancia, sino también la diferencia horaria, hacen que agradezca enormemente a Lukas.

En segundo lugar, agradecer a mis padres. Durante estos últimos cinco años, no solo se han esforzado para poder financiar económicamente mis estudios, sino que también me han apoyado hasta en los momentos más duros. De la misma manera han estado muy presentes mis hermanos Álvaro y Gabriela.

También quería dar las gracias a todos los compañeros, amigos, profesores y demás personas con las que he convivido durante estos años en ICAI. Me llevo un bonito recuerdo de esta Escuela, el cual nunca olvidaré.

Por último, agradecer a Paula por todo su apoyo psicológico y moral. Porque gracias a ella consigo recordar que es lo verdaderamente importante, y aprendo a preocuparme de las cosas en su justa medida, dando la importancia que se merecen.

Madrid, 2017

Contenido

1.	Introducción	1
1-1.	Contexto de trabajo	1
1-2.	Descripción del problema	2
1-3.	Objetivo	2
2.	Revisión del estado del arte	5
3.	Método de ajuste	7
3-1.	Modelo empleado	7
3-2.	Método empleado.....	11
3-3.	Ecuaciones empleadas	11
3-4.	Diagrama de bloques	14
4.	Resultados	15
4-1.	Análisis de las medidas.....	15
4-2.	Ajuste con una medida.....	21
4-3.	Ajuste con varias medidas.....	29
4-3.1.	Ajuste independiente	29
4-3.2.	Ajuste simultáneo.....	39
4-3.3.	Comparación de ambos ajustes	44
5.	Conclusiones.....	47
6.	Bibliografía	49
A.	PROGRAMA: MATLAB	51
A-1.	Modelo.....	51
A-2.	DeterminaError.....	58
A-3.	Dibujar	63
A-4.	DibujarMedida	70
B.	MODELO: SIMULINK.....	73
C.	VALORES DE LOS PARÁMETROS AJUSTADOS.....	75

Índice de figuras

Figura 1. Woodward diesel governor model.....	7
Figura 2. Ejemplo de medidas de los grupos Móvil 2 y Diésel 18	8
Figura 3. Modelo para el cálculo del desvío de la frecuencia	8
Figura 4. Ajuste con HayRetraso=0; nCeros=1; nPolos=2	9
Figura 5. Ajuste con HayRetraso=1; nCeros=1; nPolos=2	9
Figura 6. Ajuste con HayRetraso=1; nCeros=1; nPolos=1	10
Figura 7. Ajuste con HayRetraso=0; nCeros=1; nPolos=1	10
Figura 8. Ajuste con HayRetraso=1; nCeros=0; nPolos=1	10
Figura 9. Ajuste con HayRetraso=0; nCeros=0; nPolos=1	10
Figura 10. Diagrama de bloques.....	14
Figura 11. Medidas del generador MOVIL 2	16
Figura 12. Medidas del generador MOVIL 3	16
Figura 13. Medidas del generador DIESEL 12.....	17
Figura 14. Medidas del generador DIESEL 13.....	17
Figura 15. Medidas del generador DIESEL 14.....	18
Figura 16. Medidas del generador DIESEL 15.....	18
Figura 17. Medidas del generador DIESEL 16.....	19
Figura 18. Medidas del generador DIESEL 17.....	19
Figura 19. Medidas del generador DIESEL 18.....	20
Figura 20. Medidas del generador DIESEL 19.....	20
Figura 21. Variables de decisión para cada generador	21
Figura 22. Ajuste con una medida: MOVIL 2	22
Figura 23. Ajuste con una medida: MOVIL 3	22
Figura 24. Ajuste con una medida: DIESEL 12	23
Figura 25. Ajuste con una medida: DIESEL 13	23
Figura 26. Ajuste con una medida: DIESEL 14	24
Figura 27. Ajuste con una medida: DIESEL 15	24
Figura 28. Ajuste con una medida: DIESEL 16	25
Figura 29. Ajuste con una medida: DIESEL 17	25
Figura 30. Ajuste con una medida: DIESEL 18.....	26
Figura 31. Ajuste con una medida: DIESEL 19	26
Figura 32. Error total por generador del ajuste con una medida	27
Figura 33. Ajuste por ensayo: MOVIL 2.....	29
Figura 34. Ajuste por ensayo: MOVIL 3.....	30
Figura 35. Ajuste por ensayo: DIESEL 12	31
Figura 36. Ajuste por ensayo: DIESEL 13	32
Figura 37. Ajuste por ensayo: DIESEL 14	33
Figura 38. Ajuste por ensayo: DIESEL 15	34
Figura 39. Ajuste por ensayo: DIESEL 16	35
Figura 40. Ajuste por ensayo: DIESEL 17	36
Figura 41. Ajuste por ensayo: DIESEL 18	37
Figura 42. Ajuste por ensayo: DIESEL 19.....	38
Figura 43. Ajuste simultáneo: MOVIL 2.....	39
Figura 44. Ajuste simultáneo: MOVIL 3.....	39
Figura 45. Ajuste simultáneo: DIESEL 12.....	40
Figura 46. Ajuste simultáneo: DIESEL 13.....	40

Figura 47. Ajuste simultáneo: DIESEL 14.....	41
Figura 48. Ajuste simultáneo: DIESEL 15.....	41
Figura 49. Ajuste simultáneo: DIESEL 16.....	42
Figura 50. Ajuste simultáneo: DIESEL 17.....	42
Figura 51. Ajuste simultáneo: DIESEL 18.....	43
Figura 52. Ajuste simultáneo: DIESEL 19.....	43
Figura 53. Error total (pu) por generador para los ajustes con cada ensayo y para el ajuste simultáneo.....	44
Figura 54. Modelo Simulink.....	73

1. Introducción

1-1. Contexto de trabajo

Este Proyecto trata el problema que tienen los sistemas eléctricos insulares, que, debido a su pequeño tamaño, la pérdida de alguno de los generadores lleva consigo considerables desvíos de frecuencia que pueden afectar al correcto funcionamiento de equipos y dispositivos que estén conectados a dicho sistema eléctrico. Este problema con la estabilidad de la frecuencia se debe a que las islas son pequeñas por lo que el sistema tiene poca inercia ya que cada generador representa una parte sustancial de la demanda. Si se pierde uno de los grupos la frecuencia varía mucho. Esto es algo que no ocurre en el Sistema Peninsular debido a su gran tamaño.

Para poder analizar la respuesta de un sistema ante una perturbación, como puede ser la pérdida de un grupo generador, se necesitan modelos que calculen dicha respuesta. Es más, para ajustar los esquemas de deslastre de cargas (protección del sistema contra frecuencias bajas) es necesario conocer y reproducir la respuesta mediante modelos.

La dinámica de la frecuencia viene determinada ante todo por el rotor, la turbina y el sistema de regulación de velocidad de los grupos generadores.

Para que el análisis de estos sistemas mediante modelos sea válido, dichos modelos deberán reflejar adecuadamente la respuesta, es decir, serán necesario contar con medidas del sistema para que la respuesta del modelo coincida con éstas.

En concreto, este proyecto se centra en el sistema eléctrico de La Palma, cuando uno de los generadores que componen la Central Diésel de Endesa Los Guinchos se desconecta. Dicha Central está situada en el municipio de Breña Alta, en el este de la Isla de La Palma, Comunidad Autónoma de Canarias. Por tanto, al ser un sistema insular, cualquier fallo en uno de los diez generadores diésel que la componen afecta de manera destacable en la frecuencia de la red.

En el caso extremo, la caída de uno o varios generadores podría causar que todo el sistema eléctrico de La Palma cayese. Esto ya ocurrió el 3 de septiembre de 2013, cuando debido al fallo de un interruptor de uno de los generadores de la Central hubo un apagón en toda la Isla. Casos como este son de una considerable gravedad, puesto que no sólo provocan el cese de aquellas actividades que requieran del uso de energía eléctrica, sino que puede afectar también a lugares críticos como hospitales o sistemas de gestión del tráfico -aunque estos cuenten con sistemas de emergencia-.

Casos como este muestran la importancia de tener un modelo robusto, que pueda predecir de manera precisa las consecuencias que traen consigo la caída de cada uno de los grupos. De esta forma no sólo se consigue que los

equipos trabajen correctamente a su frecuencia nominal, sino que también se evitan desastres mayores como el apagón ocurrido en 2013.

1-2. Descripción del problema

Por tanto, tras lo explicado en la sección anterior, el problema consiste en obtener ajustes robustos de los modelos.

El primer paso para la resolución del problema es elegir un modelo adecuado. Para ello hay que conocer los tipos de generador de la Central. En este caso, los grupos generadores son de tipo diésel por lo que el modelo deberá ser acorde con estos.

En segundo lugar, hay que ajustar el modelo. Para ello hay que ajustar los distintos parámetros del sistema, que son aquellos determinados por el rotor, la turbina y el sistema de regulación de velocidad, a partir de medidas reales del sistema. Para que conseguir que el ajuste sea robusto hay que tratar de minimizar en la mayor medida posible el error existente entre la respuesta del modelo y las medidas del sistema.

En tercer lugar, se deberá saber si las medidas disponibles son buenas para el ajuste. Por defecto no se sabe si una medida es buena o no, pero siempre se puede comprobar que valores iniciales y finales tienen sentido. Sabiendo la potencia base de la máquina, el estatismo en dicha base, y la potencia en unitarias del generador cuando se dispara el grupo, se podría saber el valor final del desvío de frecuencia multiplicando la potencia por el estatismo. También se pueden comparar varias medidas para un mismo grupo, ya que idealmente y ante misma perturbación deberían ser iguales. Si algunas medidas son significativamente diferentes, habrá que descartar aquella que no cumpla con la condición anterior. En cuanto al valor inicial siempre debería ser cero, puesto que previo a la perturbación, no debería existir desvío de frecuencia alguno.

La Central de Los Guinchos, cuenta con diez generadores diésel -*Móvil 2, Móvil 3, Diésel 12, Diésel 13, Diésel 14, Diésel 15, Diésel 16, Diésel 17 Diésel 18 y Diésel 19*-.

Para la realización del proyecto se realizaron una serie de pruebas en la Central. Estas pruebas consistieron en disparar (desconectar intencionadamente de la red) uno a uno los diez generadores de la central, midiendo el desvío de frecuencia de la red hasta que ésta alcanzaba de nuevo el régimen permanente (medidas cada 0,1 segundos durante 40 segundos).

1-3. Objetivo

El objetivo que persigue este proyecto es encontrar un modelo con la mayor robustez posible. Este modelo, que se presentará en el tercer apartado del presente documento, consta de distintos parámetros, los cuales habrá que

calcular, a partir de las medidas disponibles de los distintos generadores, es decir, cada generador tendrá su propio modelo.

Para cada generador se obtendrán varios ajustes distintos. En primer lugar, uno por cada medida del grupo y, en segundo lugar, un modelo que coja la media de todas las medidas.

Por último, se compararán todos los ajustes, concluyendo cual es más robusto de los dos.

2. Revisión del estado del arte

Los sistemas eléctricos son sistemas muy complejos, formados por una gran cantidad de elementos [Sigirist'10]. Por tanto, contar con un modelo robusto que caracterice el sistema es importante.

Los autores L. Rouco, J. Zamora, A. Zazo, M.A. Sanz-Bobi, y F.L. Pagola presentan, en su artículo *A comprehensive Tool for Identification and Speed-governing Systems for Power System Stability Studies* [Rouco'99], los pasos que hay seguir para el correcto desarrollo de un modelo para un sistema eléctrico. Estos pasos son los siguientes:

- Desarrollar un modelo apropiado basado en información disponible, y teniendo en cuenta la señal medida-en este caso el desvío de frecuencia-
- Realizar pruebas en el sistema.
- Estimar los parámetros del modelo usando un algoritmo de estimación de parámetros no lineal.
- Validar el modelo obtenido mediante herramientas de simulación.

En primer lugar, hay que elegir un modelo adecuado, parte fundamental del proceso de identificación. Para ello hay que estudiar cuidadosamente los circuitos que definen el sistema eléctrico, así como las ecuaciones eléctricas. En muchos casos es muy útil intentar hacer coincidir el sistema eléctrico de trabajo, con un modelo estándar. Este modelo estándar será modificado a continuación para adecuarlo al sistema eléctrico de estudio.

Otro aspecto importante son las medidas recogidas cuando se realizan pruebas en el sistema. Estas tienen que realizarse con la mayor precisión posible, pues son la base para que el modelo coincida con la realidad.

Una vez, se haya elegido un modelo determinado, y se hayan recogido las medidas pertinentes del sistema eléctrico, el siguiente paso será calcular los parámetros. Este paso consiste en resolver un problema de optimización.

El problema de optimización se aplica mediante el método de los mínimos cuadrados, el cual está incluido en la librería de funciones de Matlab, mediante la función *lsqnonlin*.

Como explica [Mao'14], el método de los mínimos cuadrados es un acercamiento estándar a la solución aproximada de infinitos sistemas. El mejor ajuste en el algoritmo de los mínimos cuadrados minimiza la suma de los valores residuales al cuadrado, los cuales representan la diferencia entre un valor observado y el valor ajustado mediante un modelo. Mientras el sistema de identificación esté en ejecución, cada vez que se obtengan nuevos parámetros, el algoritmo de los mínimos cuadrados corrige los resultados anteriores basándose en la

información nueva y la anterior. Después de ciertas iteraciones, el programa dejará de ejecutarse cuando se consiga llegar a unos valores con una precisión deseada.

El objetivo final de este método es encontrar la línea que mejor se ajusta a cierta medida. El problema más simple se haría mediante un ajuste lineal, aplicando el método de los mínimos cuadrados a una recta:

$$y = a * x + b \quad (1)$$

Sin embargo, en la mayoría de casos, la información disponible sigue una curva de mayor orden, del tipo:

$$y = a_1 * f_1(x) + \dots + c_K * f_K(x) \quad (2)$$

Para estos casos, para realizar la búsqueda de los parámetros del modelo habría que seguir un ajuste no lineal [Miller'12].

El último paso es la validación del modelo, el cual es una parte muy difícil de cualquier proceso de identificación de parámetros.

Según [Ljung'94], este último paso de validación del modelo "could be viewed as the essential process of identification", es decir, es la parte esencial del proceso de identificación, ya que es una "especie" de filtro que analiza los modelos candidatos.

[Ljung'94] considera que se pueden validar modelos mediante las siguientes técnicas básicas:

1. Observar de manera gráfica como es la respuesta del modelo en comparación con las medidas. Esto es básicamente decidir si la comparación entre modelo y medida tiene "buena pinta". En el caso de que no se parezcan ese modelo será despreciado. Si la comparación no mejora usando otro paquete de medidas habrá que realizar ciertas mejoras en la simulación.
2. En el caso de que gráficamente el modelo parezca adecuado, habrá que elegir aquel que presente un error mínimo.

Para el modelo que se va a presentar a continuación se han seguido los pasos descritos en el presente apartado. Así, las características específicas que son de interés para el presente Proyecto, se explican en los siguientes apartados.

3. Método de ajuste

El objetivo de este apartado es presentar el proceso que se ha seguido para resolver el problema. Está dividido en cuatro apartados:

- En primer lugar, se explicará el modelo escogido, basado en la información disponible.
- A continuación, se presentará de manera genérica la manera de realizar la optimización
- Tras un análisis genérico, se presentarán las ecuaciones empleadas para el cálculo de cada uno de los parámetros.
- Por último, para concluir este apartado, se presentará todo lo anterior de forma esquemática mediante un diagrama de bloques.

3-1. Modelo empleado

El modelo que se ha utilizado para el presente proyecto está basado en el DEGOV1, definido en el apartado 7.4 de la librería de modelos de PSS®E [Siemens'09].

Dicho modelo se denomina *Woodward diesel governor model*, es decir está diseñado para generadores diésel de Woodward, Inc. Se ha elegido este modelo ya que en la Central de los Guinchos los grupos generadores también son de tipo diésel. El aspecto del modelo es el siguiente:

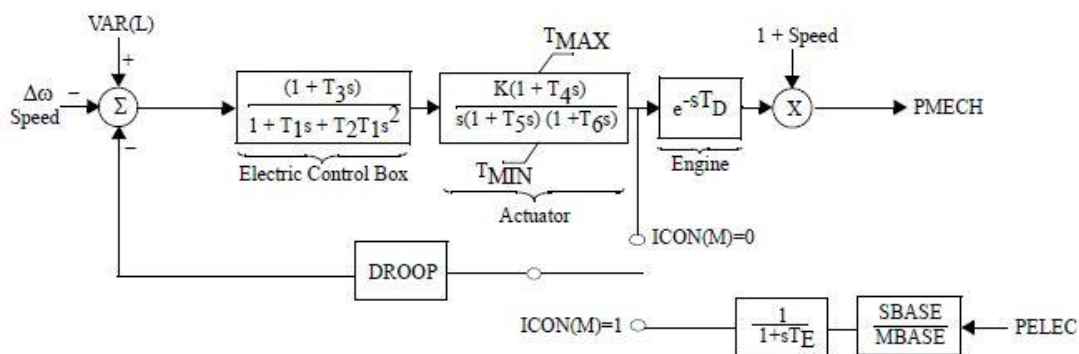


Figura 1. Woodward diesel governor model

- El bloque *Electric Control Box* representa la caja de mandos eléctrica.
- El bloque *Actuator* es el sistema de regulación de velocidad.
- El bloque *Engine* representado por un retraso, es el grupo generador diésel.
- El *DROOP* es la ganancia de realimentación, relación entre potencia generada y el incremento de velocidad.
- Los *ICON* son variables que pueden tomar el valor 1 o 2 y representan los interruptores. Si el grupo está conectado a la red, vale 0, y si no lo está valdrá 1.

Para el presente proyecto, se ha hecho alguna simplificación del modelo *Woodward*:

- El *DROOP* se sustituye por el estatismo *R* de la máquina, ya que este representa la relación entre el desvío frecuencia y la potencia generada.
- Los bloques *Electric Control Box* y *Actuator* se combinan en una única función de transferencia-con un cero y dos polos-, ya que la inspección visual de las medidas parece indicar que el modelo es de orden reducido (2 o 3). Además, el ajuste se podría hacer para un sinnúmero de variables, pero finalmente será tal que algunas variables tienen un ajuste con sentido, mientras que todas las demás tienen valores tal que no intervengan en la simulación. A modo de ejemplo, se muestran a continuación dos gráficas de medidas distintas que explican la decisión de realizar esta simplificación:

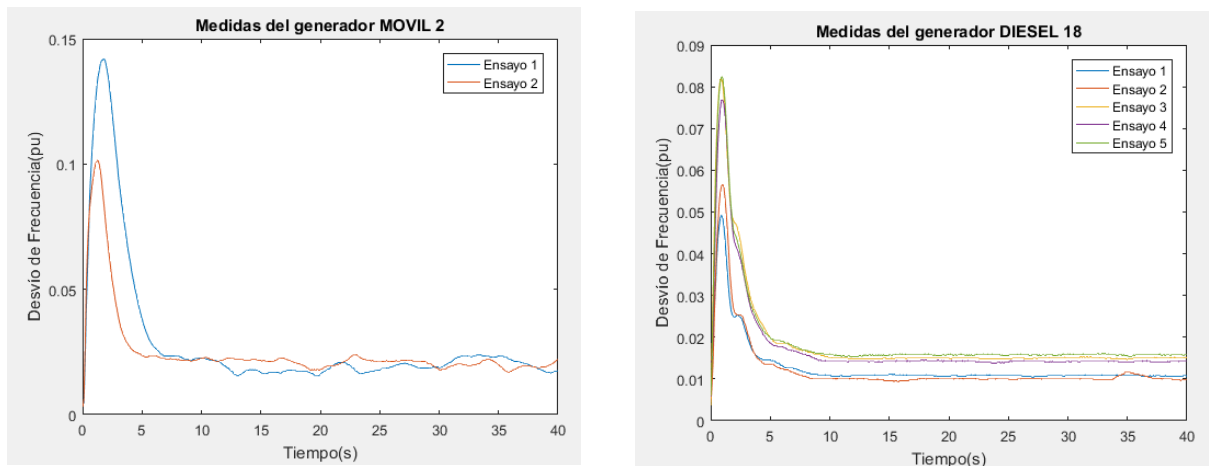


Figura 2. Ejemplo de medidas de los grupos Móvil 2 y Diésel 18

- Por último, los *ICON* se sustituyen por un bloque escalón cuyo tamaño coincidirá con lo que genera el grupo al caer en pu. Por tanto, el modelo¹ utilizado finalmente se muestra a continuación:

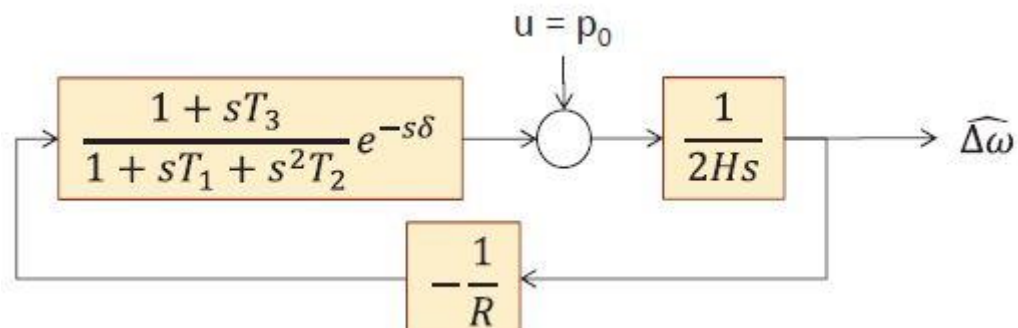


Figura 3. Modelo para el cálculo del desvío de la frecuencia

¹ El aspecto del modelo en formato Simulink se adjunta en el Anexo B

- El bloque $[-1/R]$ representa la ganancia de realimentación, donde R es el estatismo de la máquina, propiedad que define la relación entre la caída de potencia y la frecuencia
- H , es la inercia de la máquina.
- La función de transferencia representa el regulador de velocidad.
- Por último, el retraso define el generador diésel.

Para un mejor ajuste, el usuario podrá elegir en la función² *Modelo* (función principal del programa) en MATLAB, el número de polos, de ceros y si desea que haya retraso o no, mediante el ajuste de tres variables. Estas variables son:

- HayRetraso: si vale 0 , no se aplicará retraso ($\delta=0$), y si vale 1 , si se hará.
- nCeros: 0 para no tener ceros($T3=0$) y 1 para tener 1 cero.
- nPolos: 0 sin polos($T1=T2=0$), 1 un polo($T2=0$), y 2 dos polos.

La elección de estas variables se ha hecho de manera experimental, y cada grupo cuenta con distintos valores. Es decir, se han ido analizando distintas combinaciones por cada grupo hasta dar con la que menor error presenta y más se asemeja a la medida. Así, se presenta a modo de ejemplo el efecto que tienen dichas variables para seis ajustes distintos en el generador *Móvil 2*:

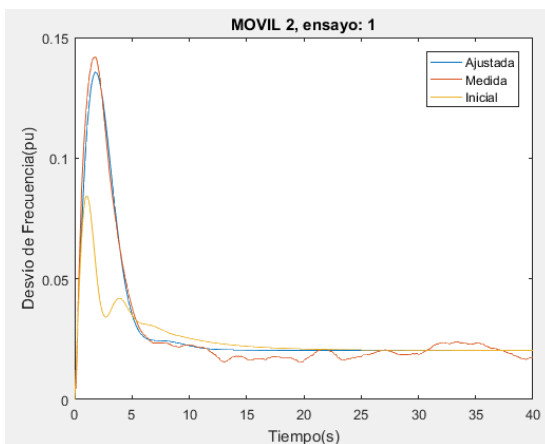


Figura 5. Ajuste con HayRetraso=1; nCeros=1; nPolos=2

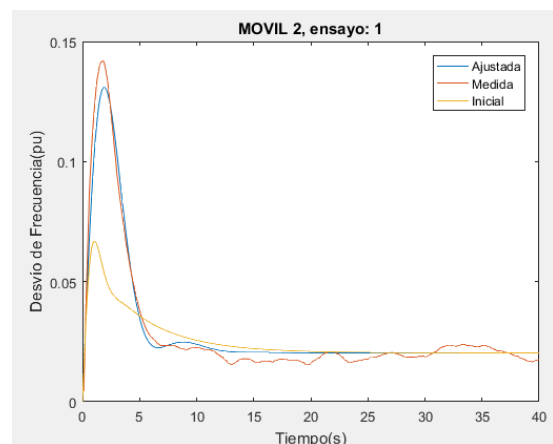


Figura 4. Ajuste con HayRetraso=0; nCeros=1; nPolos=2

² En el Anexo A se muestran las cuatro funciones que forman el proyecto

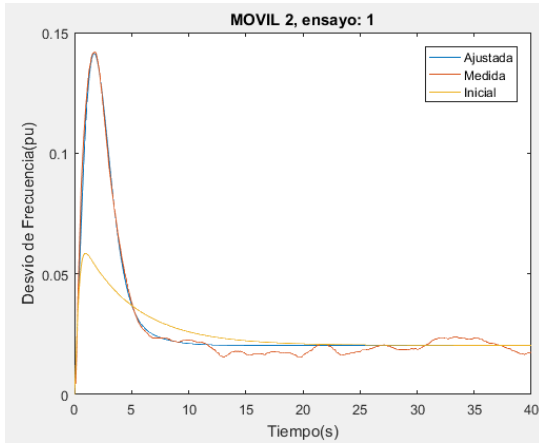


Figura 6. Ajuste con HayRetraso=1; nCeros=1; nPolos=1

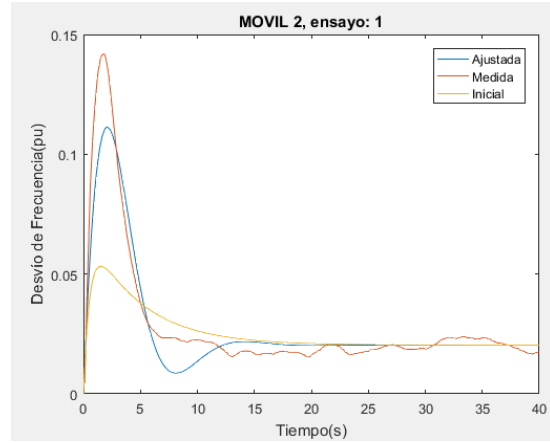


Figura 7. Ajuste con HayRetraso=0; nCeros=1; nPolos=1

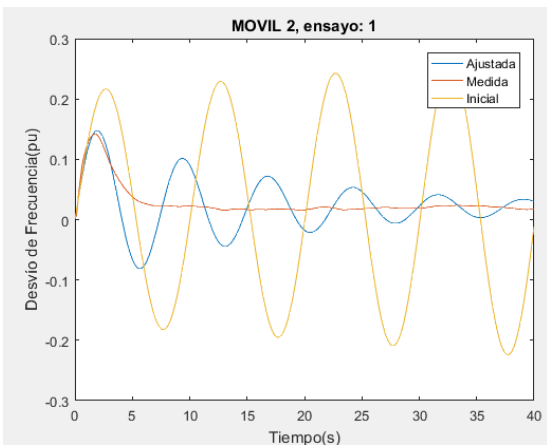


Figura 8. Ajuste con HayRetraso=1; nCeros=0; nPolos=1

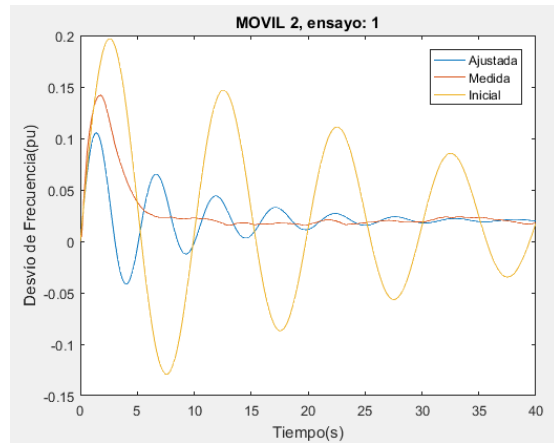


Figura 9. Ajuste con HayRetraso=0; nCeros=0; nPolos=1

Se ve claramente que las variables que determinan el tipo de modelo afectan en gran medida al resultado del ajuste. Así de un primer análisis, los ajustes sin polos (Figuras 8 y 9) se descartarían directamente, ya que son muy distintos a la medida. Por el contrario, el ajuste que más se asemeja a la gráfica de media es el de la Figura 6, que cuenta con retraso, un cero y un polo.

Por tanto, habrá que actuar de la misma manera para cada ensayo de cada grupo generador, concluyendo cual es el conjunto de valores de las variables *HayRetraso*, *nCeros* y *nPolos*, que hacen que el ajuste sea lo más robusto posible.

3-2. Método empleado

Para el correcto entendimiento de los modelos que se ajusten lo máximo posible a los diez generadores que componen la Central Eléctrica de los Guinchos es necesario presentar el método a seguir para resolver dicho modelo.

El objetivo principal es minimizar el error entre la medida, y la curva obtenida mediante la simulación del modelo. Por tanto, se compararán ambas curvas, minimizando el error lo máximo posible. Para ello, se deberá iterar con los parámetros del modelo, hasta que el error sea el mínimo. Una vez encontrado el mínimo error, serán los parámetros obtenidos los que se den por válidos. Por último, se ha de concluir si el ajuste es o no adecuado.

Escrito en forma de ecuación, el vector a minimizar es:

$$v_{error} = |v_{medida} - v_{modelo}| \quad (3)$$

donde v_{medida} es el vector que contiene las medidas, y v_{modelo} es aquel vector con los valores de la curva ajustada del desvío de frecuencia para unos parámetros del modelo determinados.

La ecuación (1) se aplica en la práctica mediante una función desarrollada en Matlab a la que se le ha dado el nombre de *DeterminaError*. Esta tiene como entradas las medidas de desvío de frecuencia realizadas, así como los distintos parámetros del modelo. Mediante la simulación del modelo a través de Simulink, se calcula v_{modelo} . A continuación, se calcula el vector de error, que calcula la diferencia (error) punto a punto entre v_{medida} y v_{modelo} , en valor absoluto.

Por último, se calcula el error total, suma de todos los elementos del vector error:

$$e_{tot} = \sum_k v_{error}(k) \quad (4)$$

Esta variable será la que se usará para determinar que ajuste es el más robusto.

3-3. Ecuaciones empleadas

El objetivo principal del programa de Matlab (dividido en un script principal y dos funciones) es usar las medidas de las que se dispone del desvío de frecuencia en los distintos generadores para así ajustar los parámetros del modelo mostrado en el apartado anterior.

En primer lugar, es necesario estimar la inercia de la máquina, H , y el estatismo de la misma, R .

El momento de inercia (J) de una máquina es una propiedad que tiene ésta por el simple hecho de estar en rotación. Es proporcional a la masa del cuerpo y la distancia al cuadrado desde el cuerpo hasta el eje de rotación. En pu, la inercia de una máquina eléctrica, j , se mide en segundos (debido a la magnitud base J_B). En los sistemas eléctricos es habitual trabajar con una inercia en unitarias distinta de j . Suele denominarse H :

$$j = 2 * H \quad (5)$$

H se basa en la energía cinética almacenada a velocidad nominal [Sigirist'15]:

$$H = \frac{\varepsilon_{cinética\ veloc.\ nominal}}{S_B} = \frac{\frac{1}{2} * J * \omega_{mec\ nom}^2}{S_B} = \frac{J}{2 * J_B} = \frac{j}{2} \quad (6)$$

Se estima de forma analítica como:

$$H = 0.5 * j = 0.5 * \frac{p_0}{\Delta\omega / \Delta t|_{t=0}} \quad (7)$$

La inercia determina la pendiente de la curva al principio. Para estimarla en Matlab se usa la diferencia entre la cuarta y primera medida de desvío de frecuencia y se aplica la ecuación (5).

Por otro lado, el estatismo de la máquina R determina la relación entre el desvío de frecuencia y el desvío en la potencia generada [Echevarren'15]:

$$R = -\frac{\Delta\omega}{\Delta P_G} (pu) \quad (8)$$

Se estima como:

$$R = -\frac{\Delta\omega|_{t=t_\infty}}{p_0} \quad (9)$$

El estatismo se basa en los últimos puntos de la gráfica, es decir, las últimas medidas (próximas y por debajo a $t=40s$). El problema es que las últimas medidas varían mucho, por lo que para calcularlo se usarán las medidas de los últimos 10 segundos (de los segundos 30 al 40) en los que ya se ha alcanzado el régimen permanente. Por tanto, se calculará la media de dichas medidas (en pu) y se aplicará la ecuación (7).

Los demás parámetros-T1, T2, T3 y retraso- se calculan mediante el método de mínimos cuadrados aplicando la siguiente ecuación:

$$\min_{T1, T2, T3, \delta} f(T1, T2, T3, \delta) = 0.5 \sum_{i=1}^n (\Delta\omega_i^2 - \widehat{\Delta\omega}_i^2) \quad (10)$$

en la que $\Delta\omega_i^2$ representa las medidas, y $\widehat{\Delta\omega}_i^2$, los desvíos de frecuencia obtenidos tras la simulación del modelo para $T1$, $T2$, $T3$ y δ .

Para calcular dicho mínimo se usa la función *lsqnonlin* de la librería de MATLAB R2016b. Esta función se encarga mediante mínimos cuadrados de minimizar el vector *v_error* de la ecuación (1), el cual se calcula mediante la función *DeterminaError*.

Por último, es importante también mostrar de manera gráfica los resultados, ya que, observar dibujadas las curvas de medida y las del modelo, da una primera impresión del mismo. Para este propósito se ha desarrollado la función *Dibujar*, la cual tiene como entradas las medidas de desvío de frecuencia, y todos los parámetros del modelo. Como resultado, dibuja en una misma gráfica la curva del modelo con los parámetros de inicialización del mismo, la medida, y el modelo una vez ajustados los parámetros. Ejemplos del resultado de dicha función ya se han presentado en las Figuras 4 y 5.

3-4. Diagrama de bloques

Para concluir la explicación del método empleado, se presenta, de manera esquemática, todos los pasos que sigue la herramienta desarrollada mediante un diagrama de bloques:

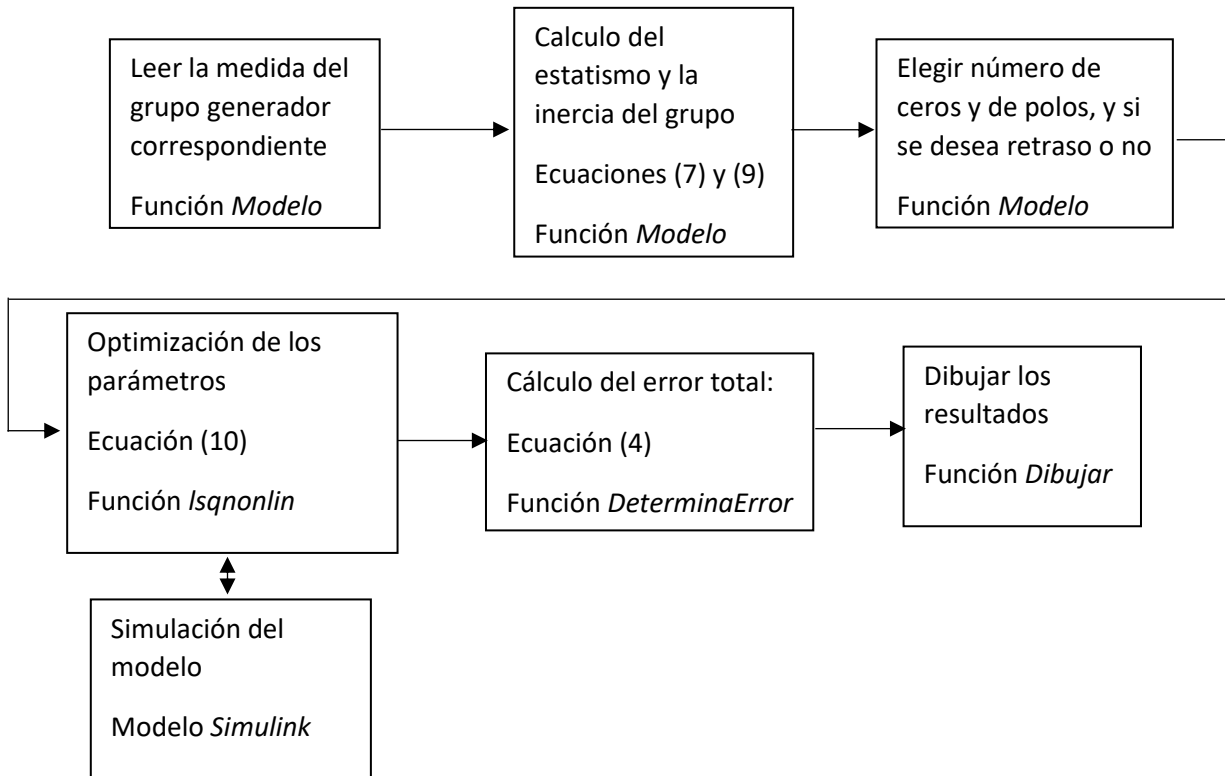


Figura 10. Diagrama de bloques

4. Resultados

En este apartado se muestran los resultados del ajuste. Se comenzará analizando las distintas medidas para cada uno de los grupos, comparándolas y viendo las diferencias y similitudes entre ellas.

Tras este análisis, se pasará a presentar el ajuste. Para ello, se mostrarán en una misma gráfica los desvíos de frecuencia de la medida y del ajuste del modelo para los distintos grupos generadores. Se realizarán distintos ajustes:

- En primer lugar, un ajuste haciendo uso de una única medida por cada grupo (apartado 4-1).
- En segundo lugar, para cada grupo se hará uso de todas las medidas de forma independiente (apartado 4-2.1). Así se observará que el ajuste puede variar significativamente en función de la medida.
- Por último, se hará un ajuste simultáneo haciendo uso de las n medidas³ para cada grupo generador -valor medio de todas las medidas- (apartado 4-2.2).
- Al final del apartado se hará un análisis de todos los resultados, comparando los ajustes por cada medida, así como el ajuste simultáneo (apartado 4-2.3). También se adjuntará una tabla con el valor del error total por cada ajuste, calculado mediante la ecuación (2).

4-1. Análisis de las medidas

A continuación, se va a presentar en una gráfica por cada generador las distintas medidas disponibles. Para este propósito se ha realizado en Matlab una función denominada *DibujarMedida*, la cual se adjunta en el Anexo A. También cabe destacar que el número de ensayos -y, por tanto, de medidas- realizados es distinto en cada generador, así se dispone de: dos ensayos para los generadores Móvil 2 y 3, y Diésel 14; tres ensayos para los grupos Diésel 15, 16 y 17; cuatro ensayos para los Diésel 12 y 13 y finalmente cinco ensayos para los grupos Diésel 18 y 19. En algunos casos no se podrá saber cuál de las medidas es la mejor ya que no ha habido comunicación en ningún momento con el personal de Endesa que realizó los ensayos.

Se adjuntan por tanto las distintas medidas para los distintos generadores, comentando junto a ellas sus características:

³ El número de ensayos disponibles depende del grupo generador. Por eso, de forma genérica se dice que hay n medidas

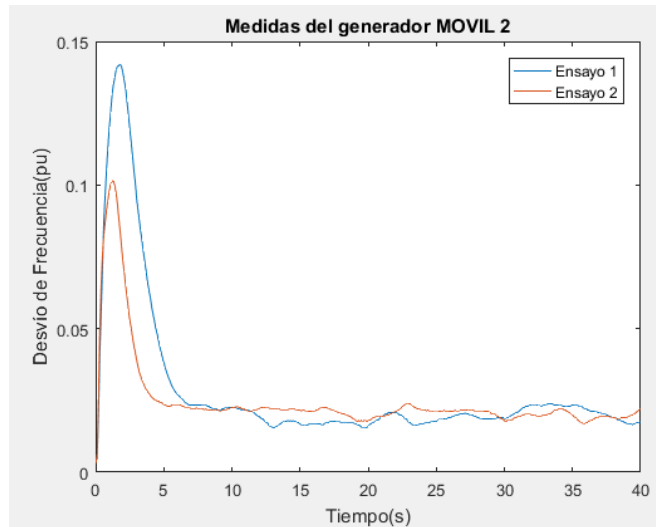


Figura 11. Medidas del generador MOVIL 2

Para este grupo las perturbaciones son en ambos ensayos de 0,3 pu, por tanto, los desvíos de frecuencia en ambos ensayos deberían ser similares, y así ocurre para los valores iniciales y finales. En cambio, el desvío máximo varía en aproximadamente 0.05 pu. Puesto que cuentan con el mismo valor inicial y final, no se podría descartar ninguna de las dos medidas a priori.

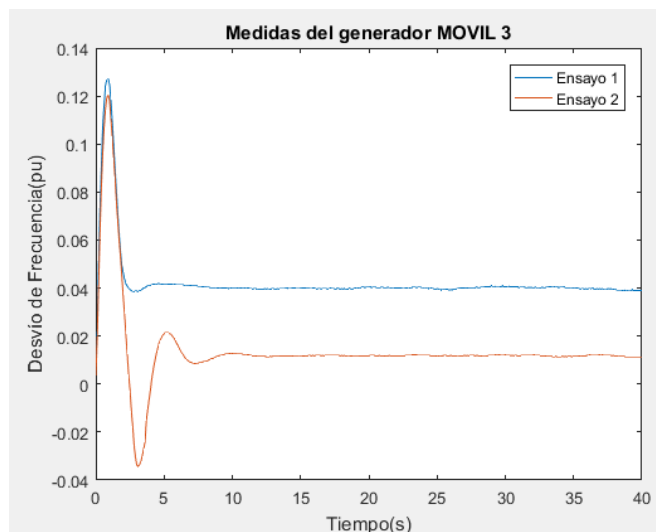


Figura 12. Medidas del generador MOVIL 3

Al contrario que en el caso anterior, en este grupo, el desvío de régimen permanente al perder la generación varía en unos 0.03 pu. Sin embargo, debido a que para este generador sólo se cuenta con dos medidas, no se puede saber cuál de las dos es la buena, pero sí está claro que son muy distintas, por lo que algún error debe de haber.

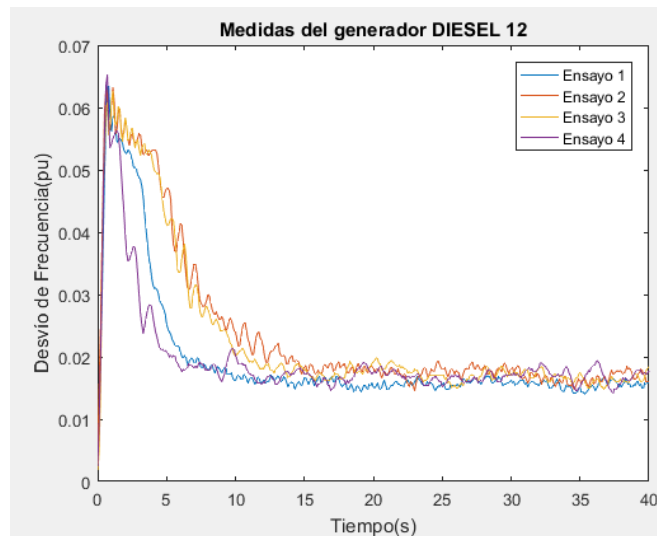


Figura 13. Medidas del generador DIESEL 12

Para el presente generador las perturbaciones se sitúan entre los 0,245 pu y los 0,3 pu. Por tanto, los valores finales deberían ser similares, y así es el caso. Además, la perturbación, en los ensayos 1, 2 y 3 son las mismas. El ensayo 1, tiene un transitorio distinto, por lo que debería descartarse.

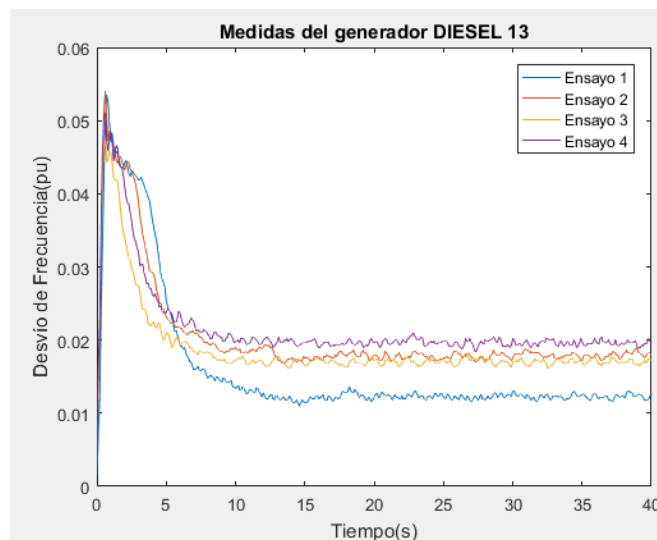


Figura 14. Medidas del generador DIESEL 13

En este grupo, como en el anterior, todas las perturbaciones son similares, oscilando entre los 0,24 pu y los 0,27 pu. El ensayo 1 habría que descartarlo, debido a su valor en régimen permanente distinto a los demás.

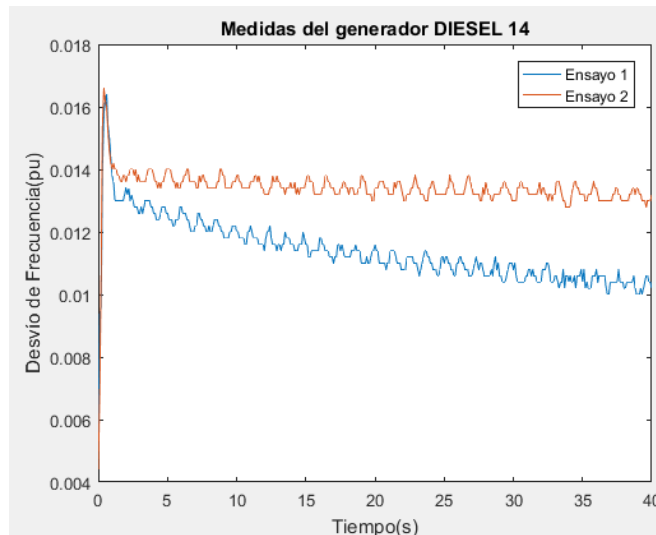


Figura 15. Medidas del generador DIESEL 14

En este generador, se producen perturbaciones de 0,164 pu y de 0,171 pu. La inercia calculada para ambos casos es de unos 0,06 pu, por lo que el valor en régimen permanente debería ser de aproximadamente 0,01 pu, lo que hace que tenga mayor validez el ensayo 1. Sin embargo, como sólo hay dos ensayos no se puede descartar ninguno.

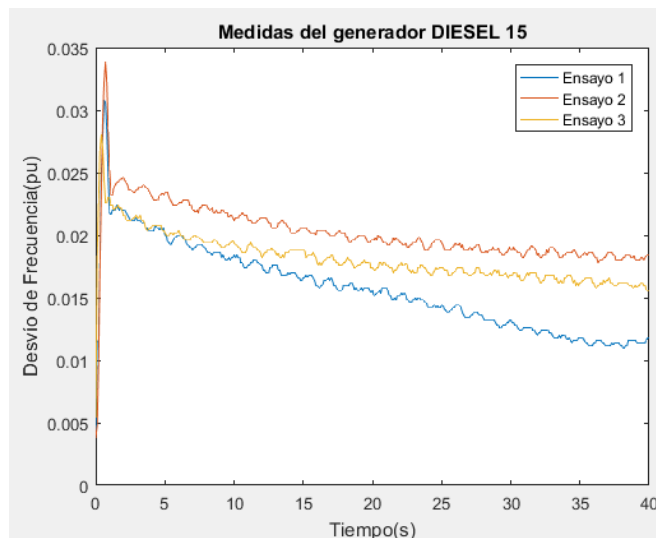


Figura 16. Medidas del generador DIESEL 15

Las perturbaciones son de 0,21; 0,22 y 0,18 pu para cada uno de los ensayos. Esto hace que teniendo una 0,055 pu, hace que el ensayo 3 sea descartado, ya que no tiene sentido que el desvío de frecuencia en régimen permanente sea mayor que el del ensayo 1.

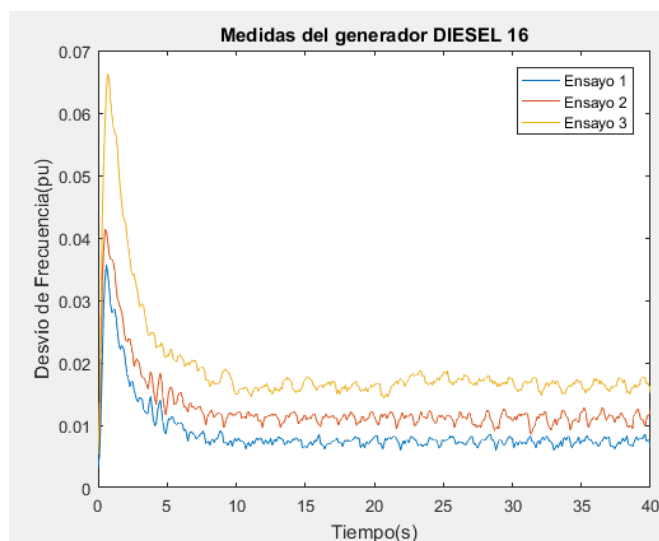


Figura 17. Medidas del generador DIESEL 16

En los ensayos 1 y 2 las perturbaciones valen 0,126 y 0,14 pu respectivamente, pero la del ensayo 3 vale 0,2 pu, provocando que sea distinta a las otras dos. Sin embargo, el transitorio de este último ensayo es muy distinto, por lo que debería descartarse.

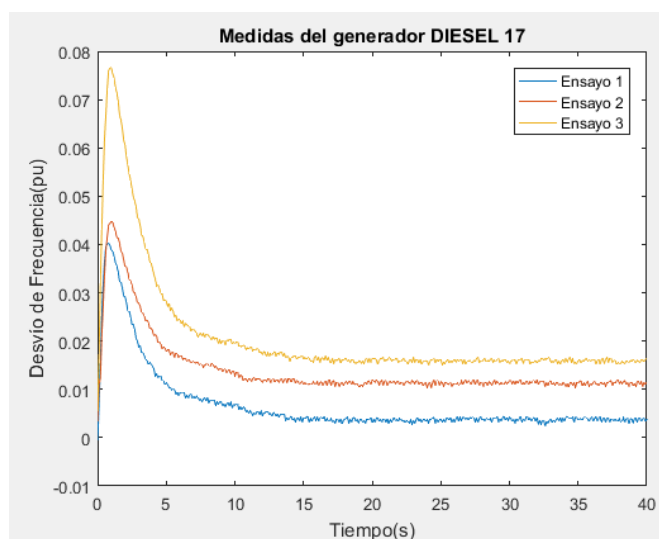


Figura 18. Medidas del generador DIESEL 17

Las perturbaciones en este ensayo valen 0,149; 0,143 y 0,219 pu, para los ensayos 1, 2 y 3. El ensayo 3 tiene un régimen transitorio muy diferente al de los otros ensayos, lo cual haría que se descartase

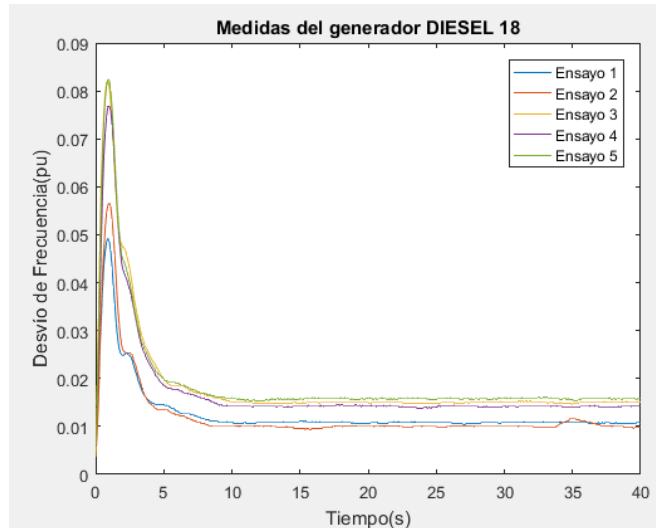


Figura 19. Medidas del generador DIESEL 18

En este generador las perturbaciones durante los ensayos son de 0,104; 0,115; 0,19; 0,175; 0,184 pu, respectivamente. Por eso las gráficas son diferentes, validando todas las medidas.

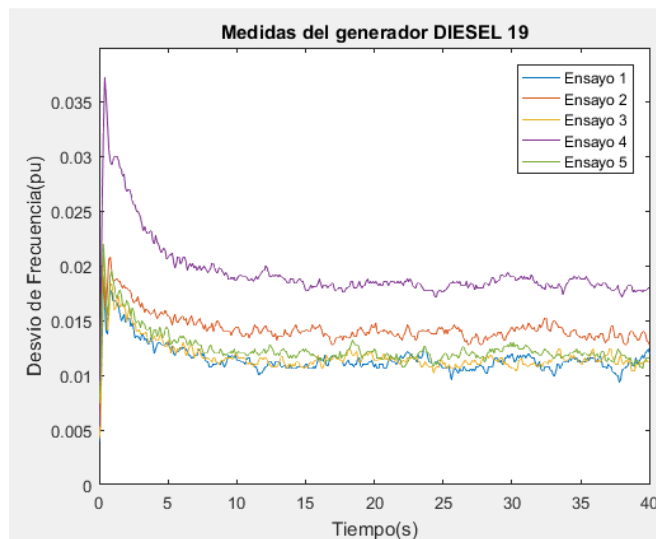


Figura 20. Medidas del generador DIESEL 19

Las perturbaciones de los ensayos 1, 2, 3 y 5 son de 0,106; 0,113; 0,115 pu y 0,118, respectivamente, por tanto, sus desvíos de frecuencia deberían ser parecidos, como ocurre. En cambio, en el ensayo 4, se produce un cambio de 0,193 pu, lo que tiene como consecuencia que la medida sea distinta a las demás.

4-2. Ajuste con una medida

En esta sección se muestra el primer ajuste. Previo a esto se especificará en una tabla las distintas variables de decisión que se han usado para cada generador en todos los ajustes. Estas se han elegido tras probar varias combinaciones hasta dar con la más acertada. Así:

	Móvil 2	Móvil 3	Diésel 12	Diésel 13	Diésel 14	Diésel 15	Diésel 16	Diésel 17	Diésel 18	Diésel 19
HayRetraso	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
nCeros	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
nPolos	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 21. Variables de decisión para cada generador

A continuación, se adjuntan las gráficas⁴ de los distintos generadores, haciendo uso de una única medida. Se mostrarán también, al final de las gráficas, el error total de cada uno de los ajustes en una tabla.

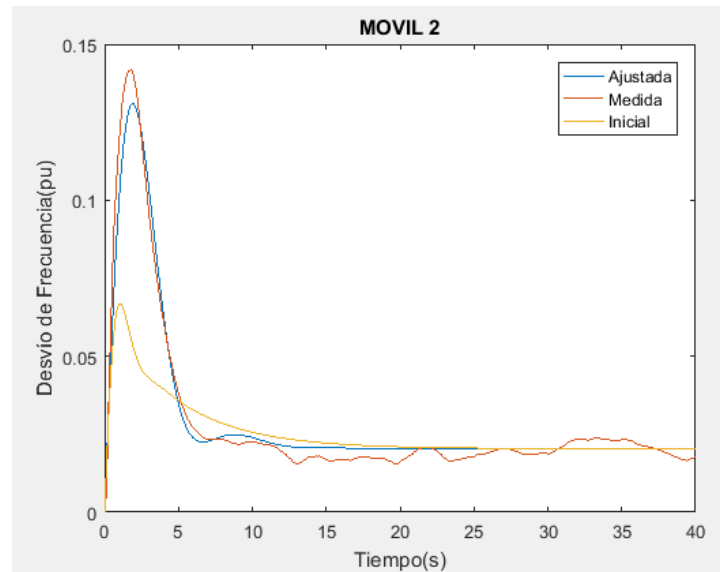


Figura 22. Ajuste con una medida: MOVIL 2

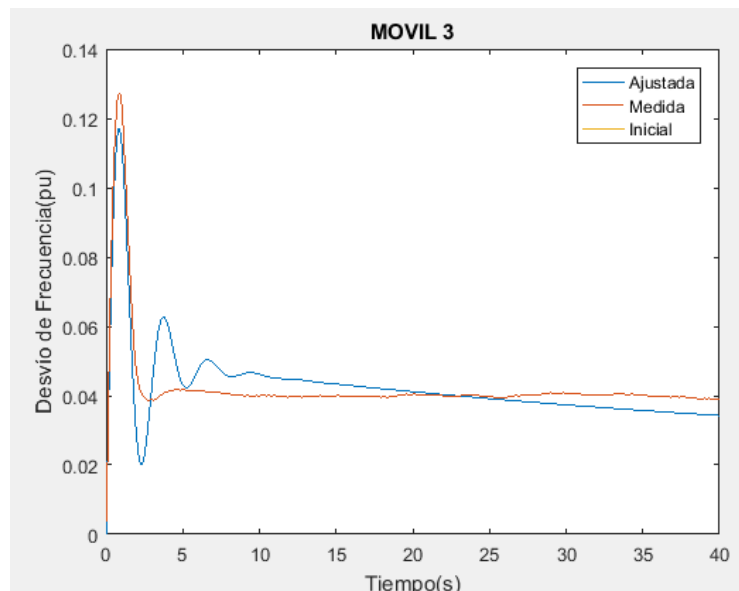


Figura 23. Ajuste con una medida: MOVIL 3

⁴ La curva con los parámetros iniciales sólo se incluirá en la primera gráfica debido a que no tiene especial relevancia en el objeto de estudio

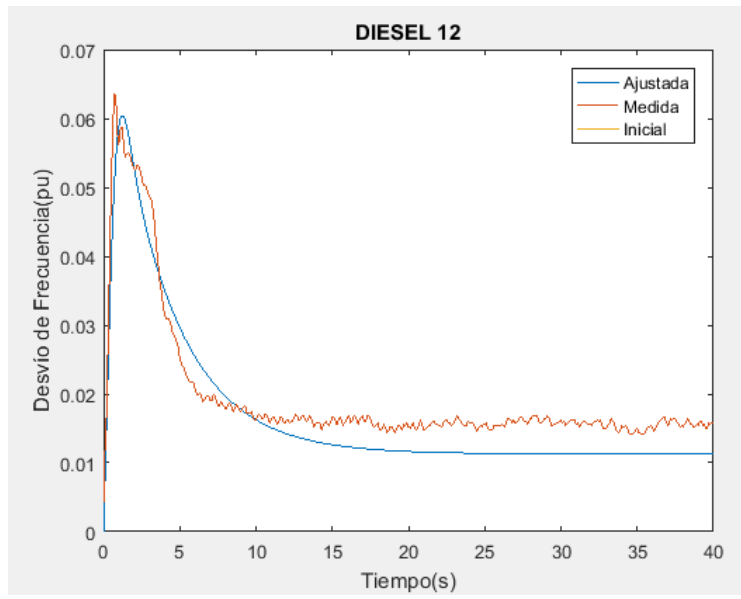


Figura 24. Ajuste con una medida: DIESEL 12

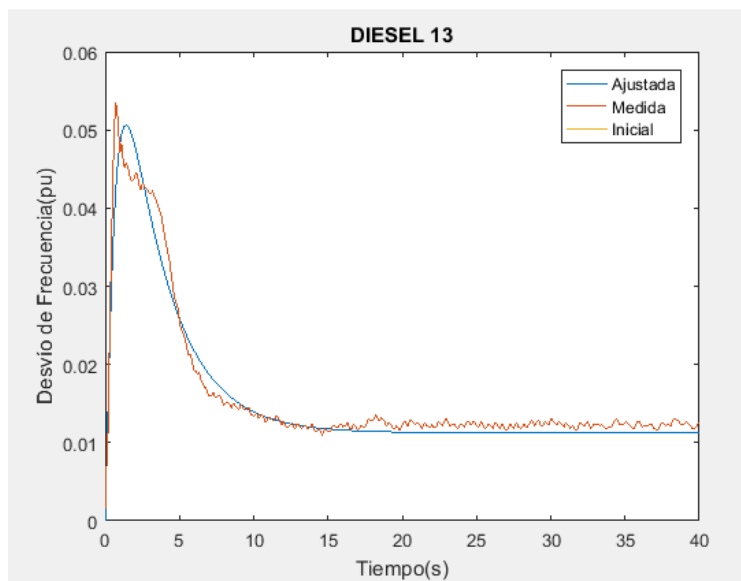


Figura 25. Ajuste con una medida: DIESEL 13

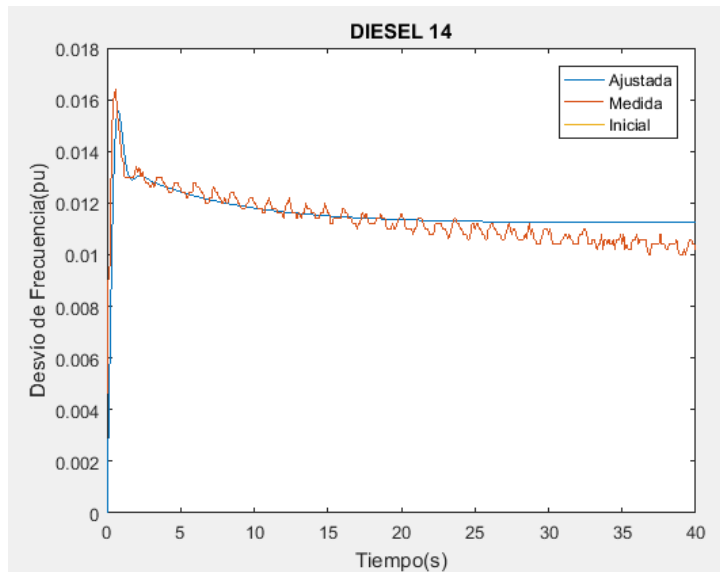


Figura 26. Ajuste con una medida: DIESEL 14

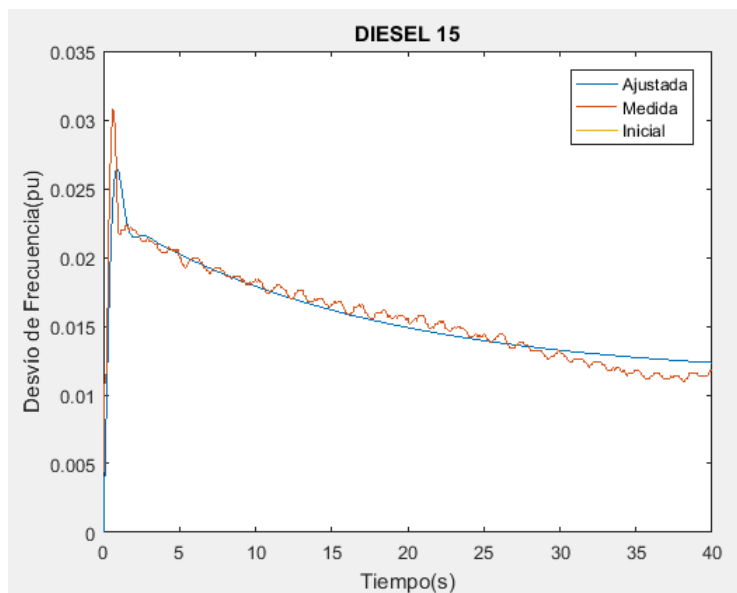


Figura 27. Ajuste con una medida: DIESEL 15

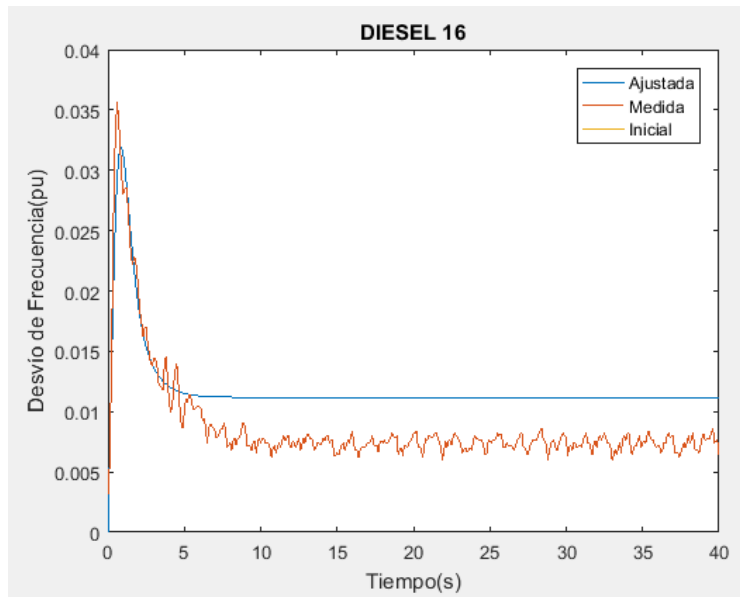


Figura 28. Ajuste con una medida: DIESEL 16

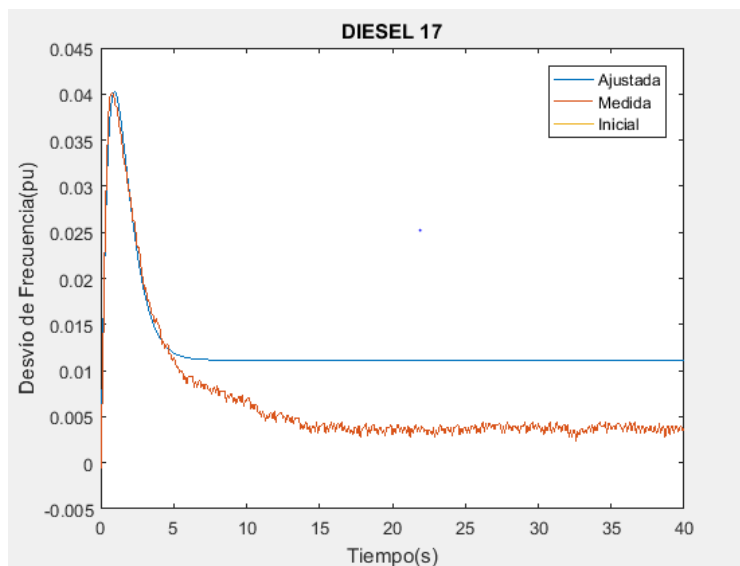


Figura 29. Ajuste con una medida: DIESEL 17

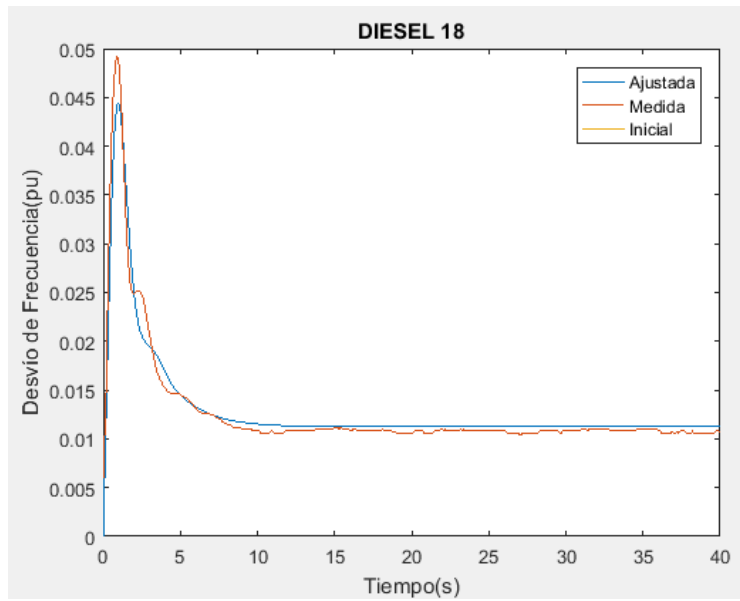


Figura 30. Ajuste con una medida: DIESEL 18

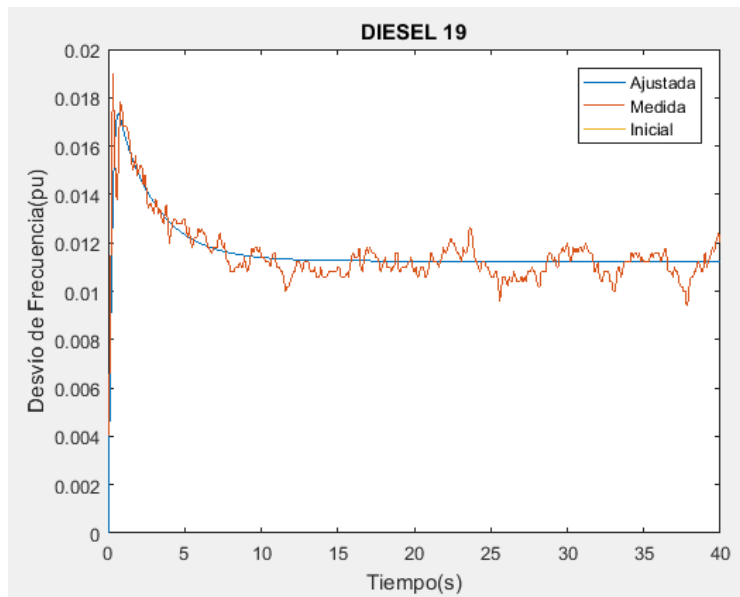


Figura 31. Ajuste con una medida: DIESEL 19

Los errores totales para cada generador se muestran en la siguiente tabla:

Generador	Error total (pu)
MOVIL 2	0,8611
MOVIL 3	1,7977
DIESEL 12	1,4743
DIESEL 13	0,51505
DIESEL 14	0,1783
DIESEL 15	0,26879
DIESEL 16	1,3566
DIESEL 17	2,3778
DIESEL 18	0,29009
DIESEL 19	0,18803

Figura 32. Error total por generador del ajuste con una medida

4-3. Ajuste con varias medidas

Este apartado está dividido en tres subapartados:

- En el primero se mostrará para cada uno de los grupos generadores distintos modelos para cada una de las n medidas disponibles, junto con los valores de la inercia y el estatismo.
- En el segundo se hará un ajuste simultáneo con las n medidas.
- Por último, se compararán los modelos de ambos apartados concluyendo cual es más robusto de los dos. Todos los valores de los parámetros se encuentran recogidos en el Anexo C.

4-3.1. Ajuste independiente

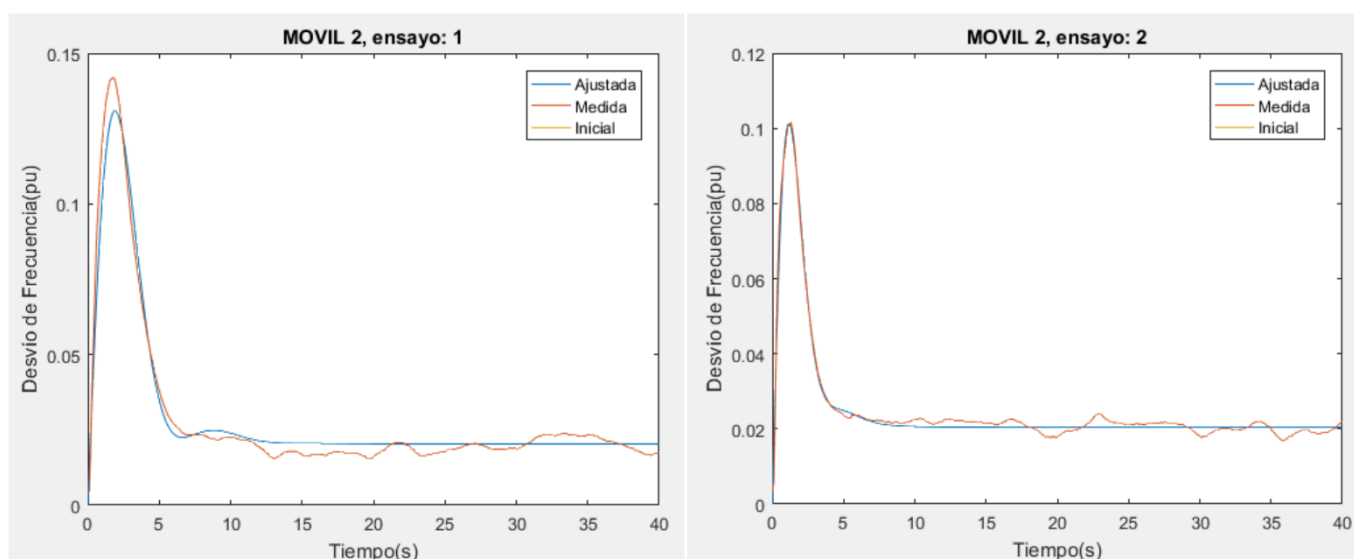


Figura 33. Ajuste por ensayo: MOVIL 2

	Ensayo 1		Ensayo 2	
	R	H	R	H
Móvil 2	0,067717	1,2385	0,068009	0,96329

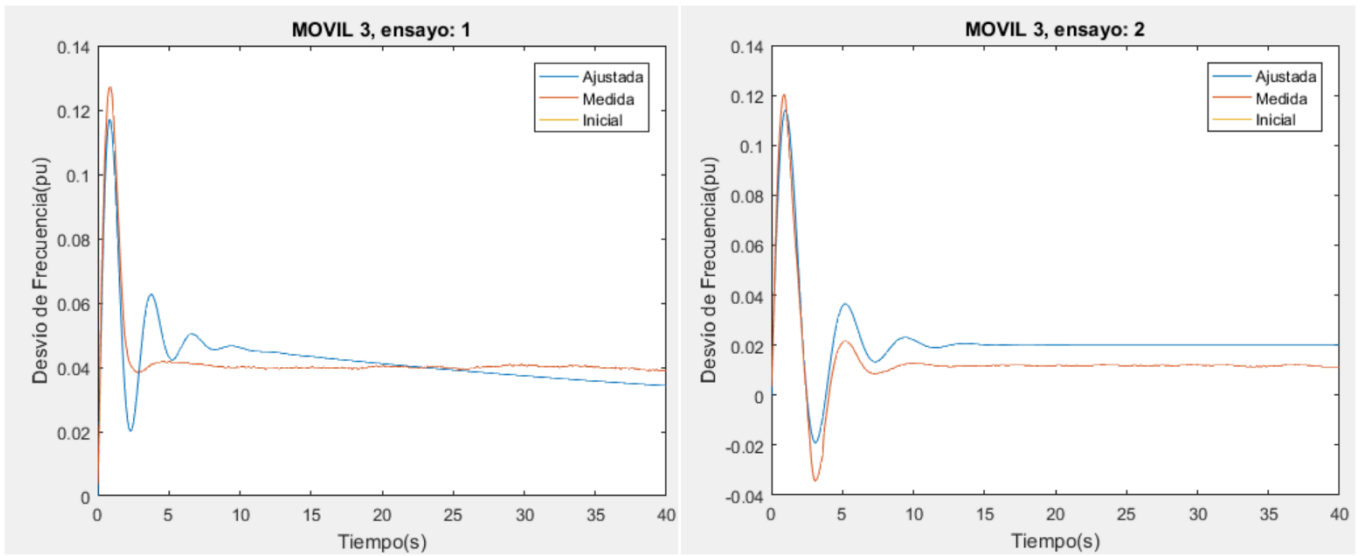


Figura 34. Ajuste por ensayo: MOVIL 3

	Ensayo 1		Ensayo 2	
	R	H	R	H
Móvil 3	0,053197	0,83705	0,050768	0,99278

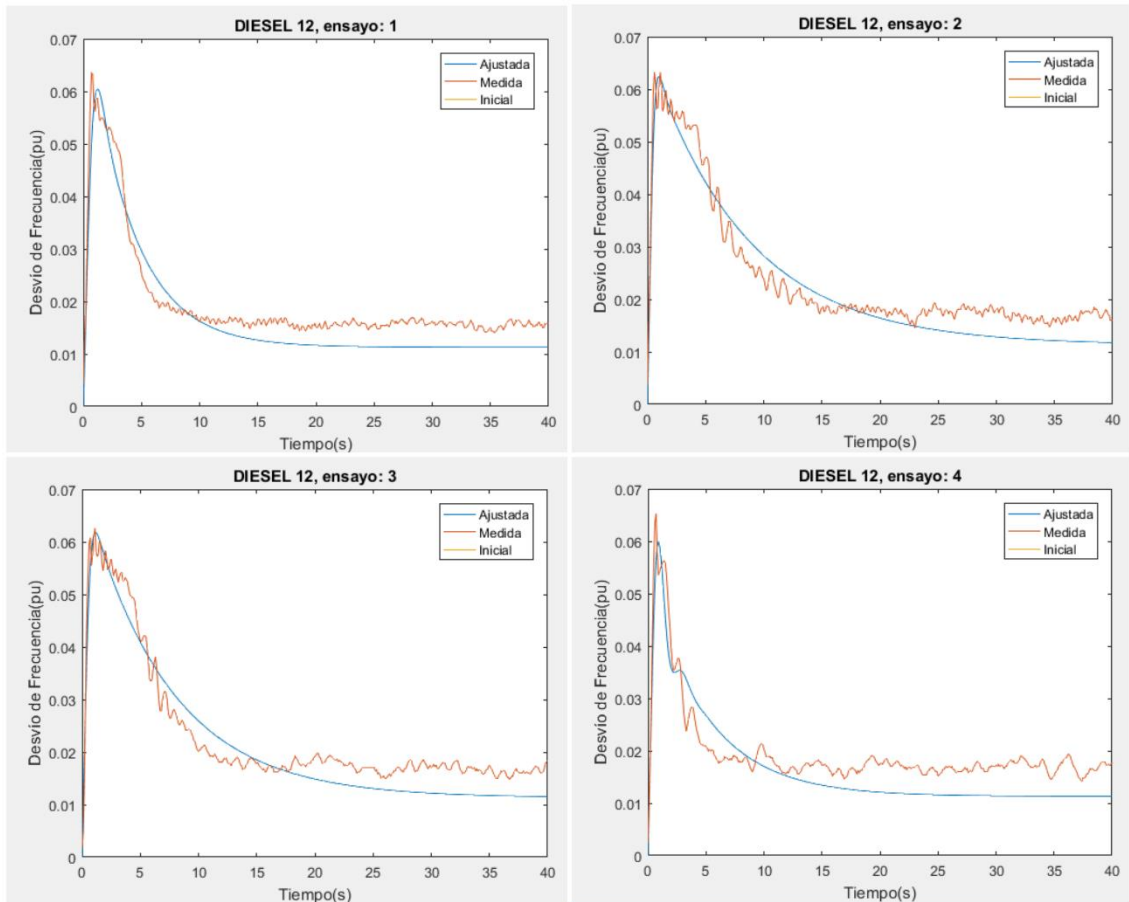


Figura 35. Ajuste por ensayo: DIESEL 12

	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4	
	R	H	R	H	R	H	R	H
Diésel 12	0,046068	1,5313	0,03763	1,3554	0,046186	1,25	0,044349	1,3661

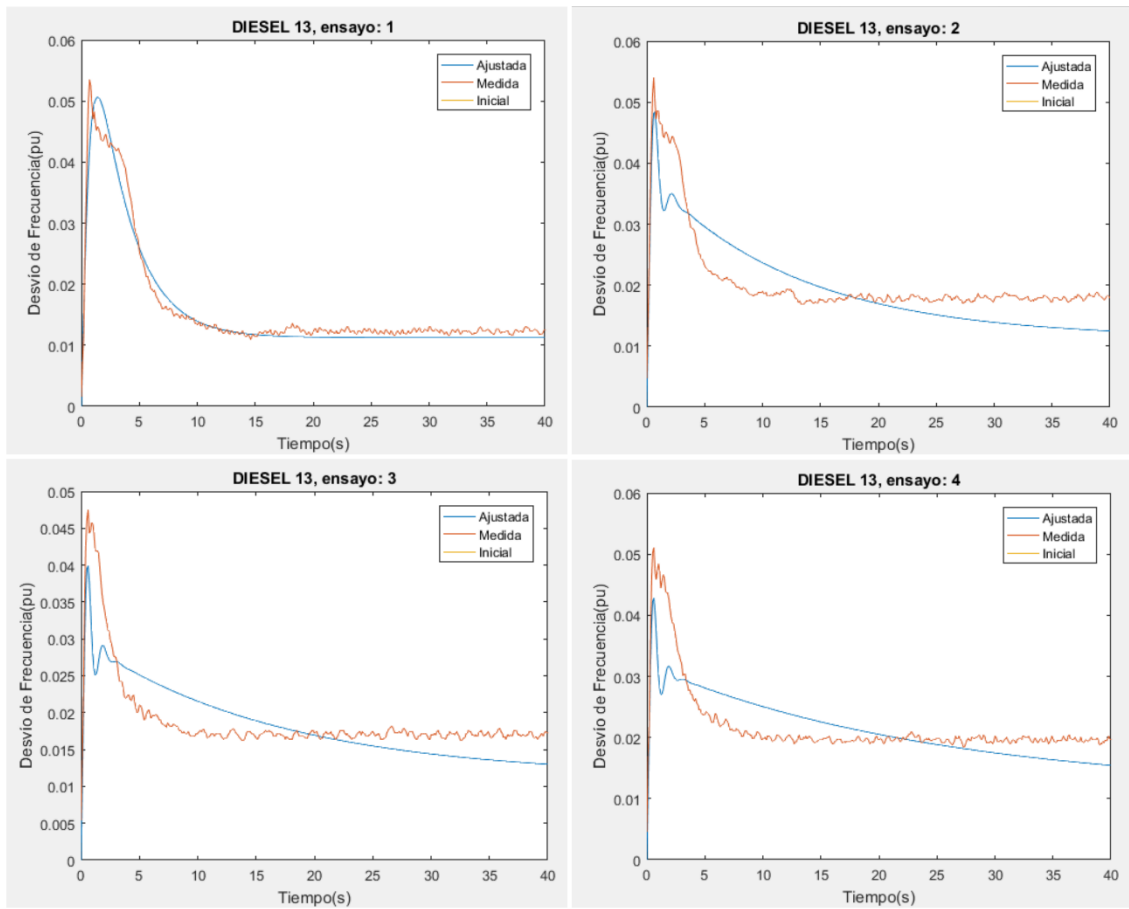


Figura 36. Ajuste por ensayo: DIESEL 13

	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4	
	R	H	R	H	R	H	R	H
Diésel 13	0,04688	1,5789	0,042675	1,2823	0,046132	1,2416	0,041959	1,2898

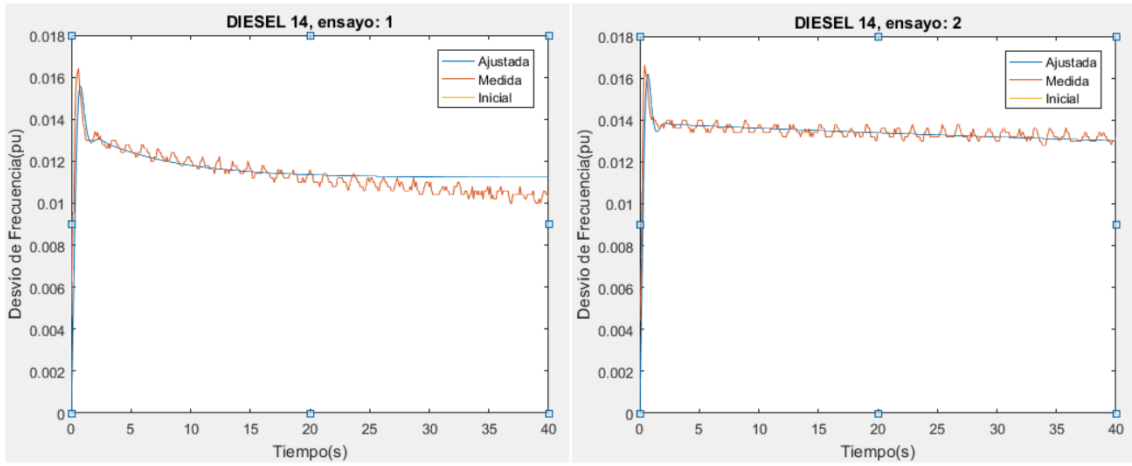


Figura 37. Ajuste por ensayo: DIESEL 14

	Ensayo 1		Ensayo 2	
	R	H	R	H
Diesel 14	0,068323	2,6216	0,06567	2,3377

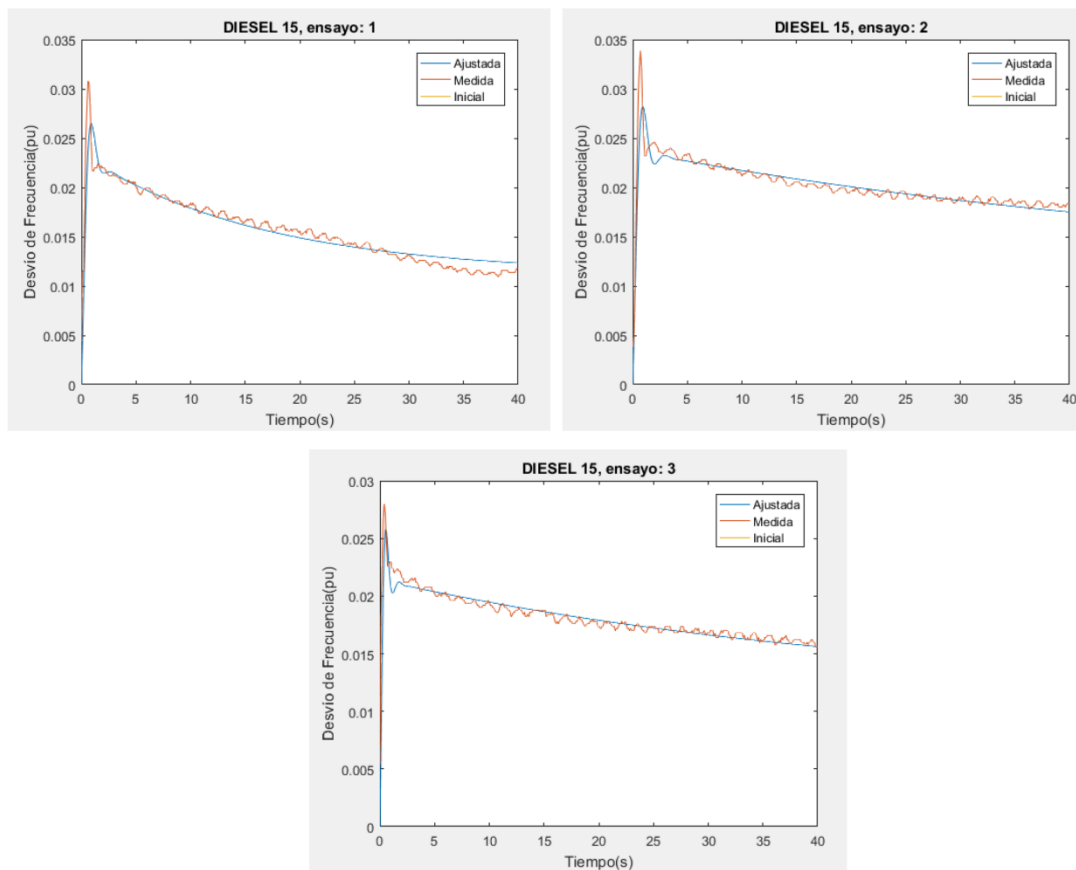


Figura 38. Ajuste por ensayo: DIESEL 15

	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
	R	H	R	H	R	H
Diésel 15	0,053353	2,3587	0,051103	2,4422	0,060762	1,3017

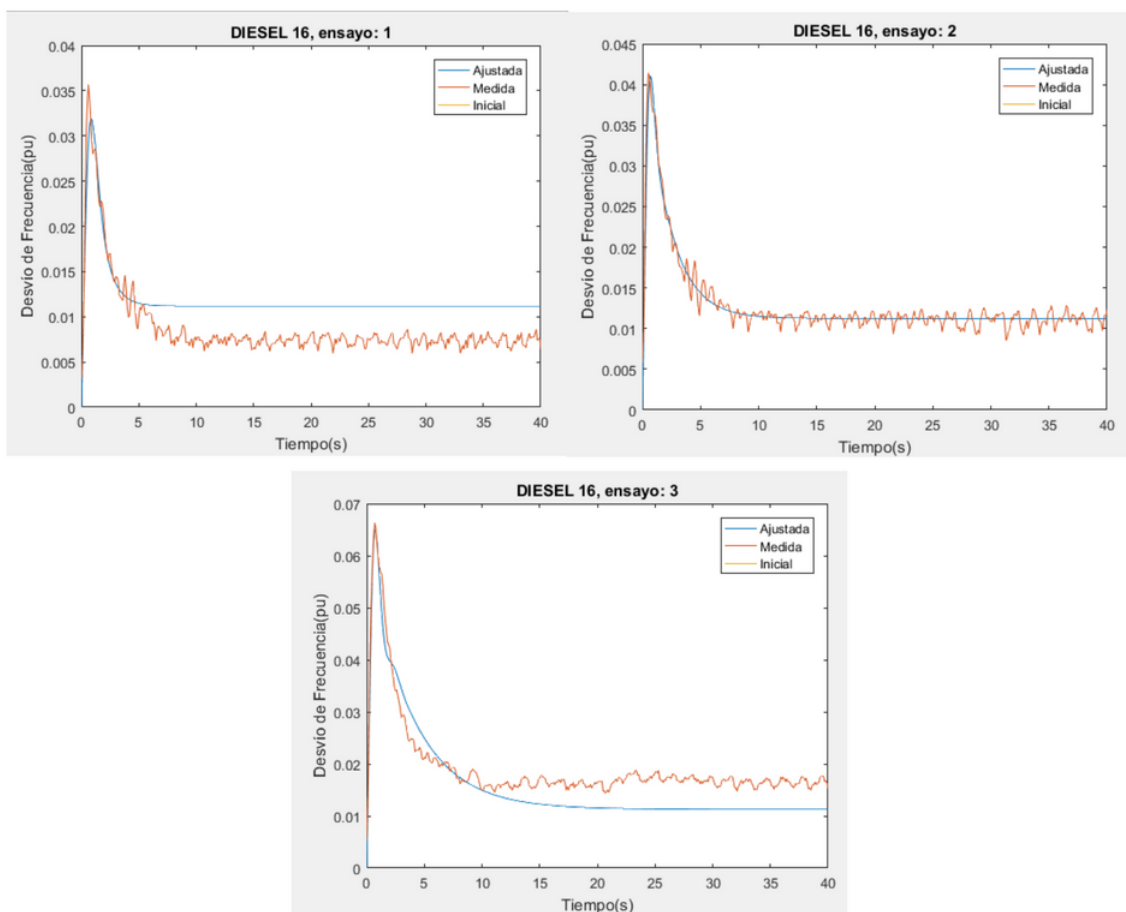


Figura 39. Ajuste por ensayo: DIESEL 16

	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
	R	H	R	H	R	H
Diésel 16	0,088215	1,0928	0,079867	0,78247	0,054114	0,82283

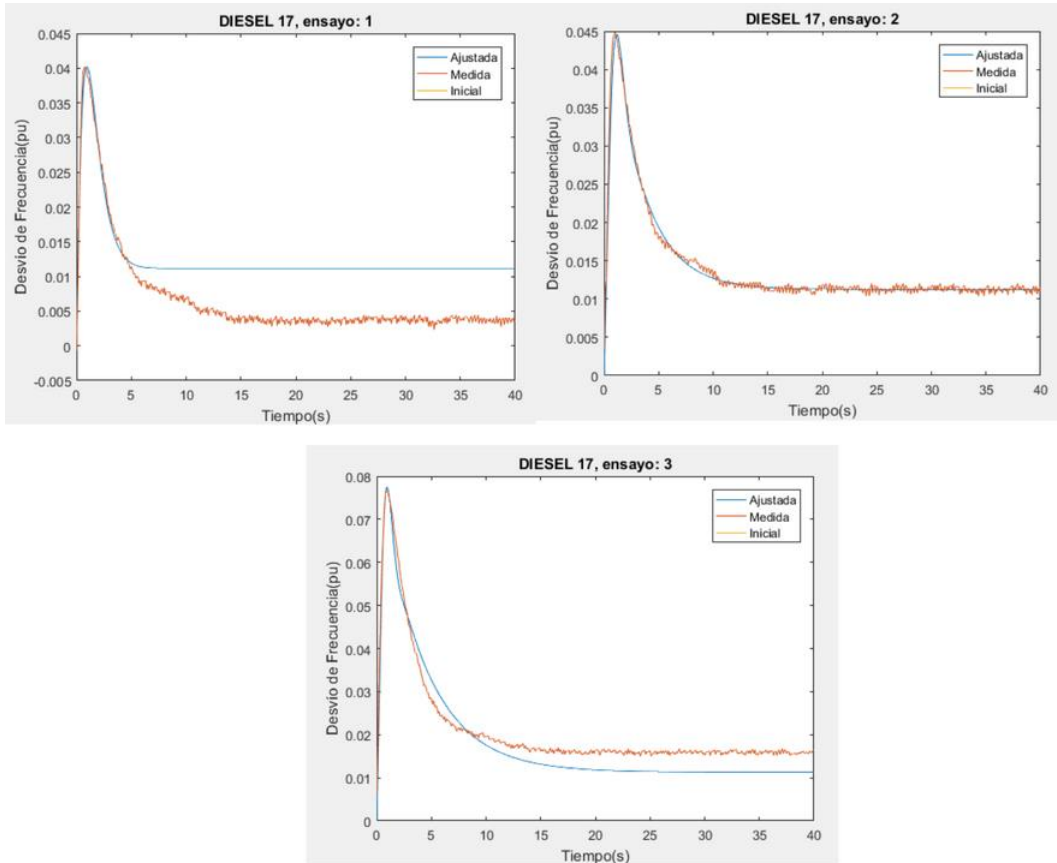


Figura 40. Ajuste por ensayo: DIESEL 17

	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
	R	H	R	H	R	H
Diésel 17	0,074706	0,868	0,078239	1,2244	0,051399	0,87654

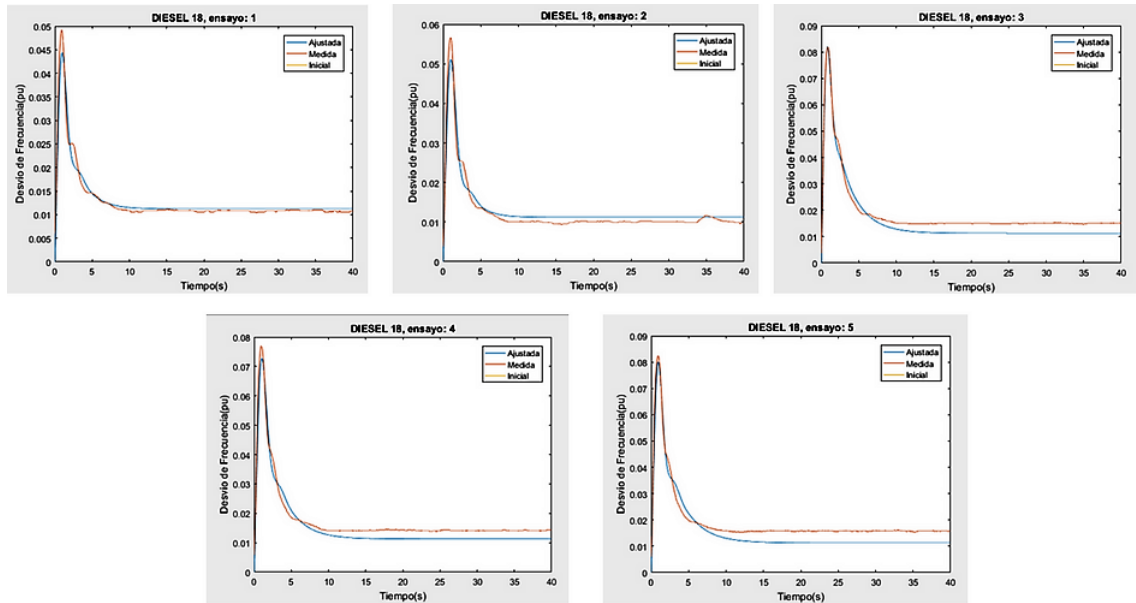


Figura 41. Ajuste por ensayo: DIESEL 18

	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	R	H	R	H	R	H	R	H	R	H
Diésel 18	0,10741	0,80009	0,0968	0,82011	0,059074	0,66596	0,064406	0,875	0,06131	0,76281

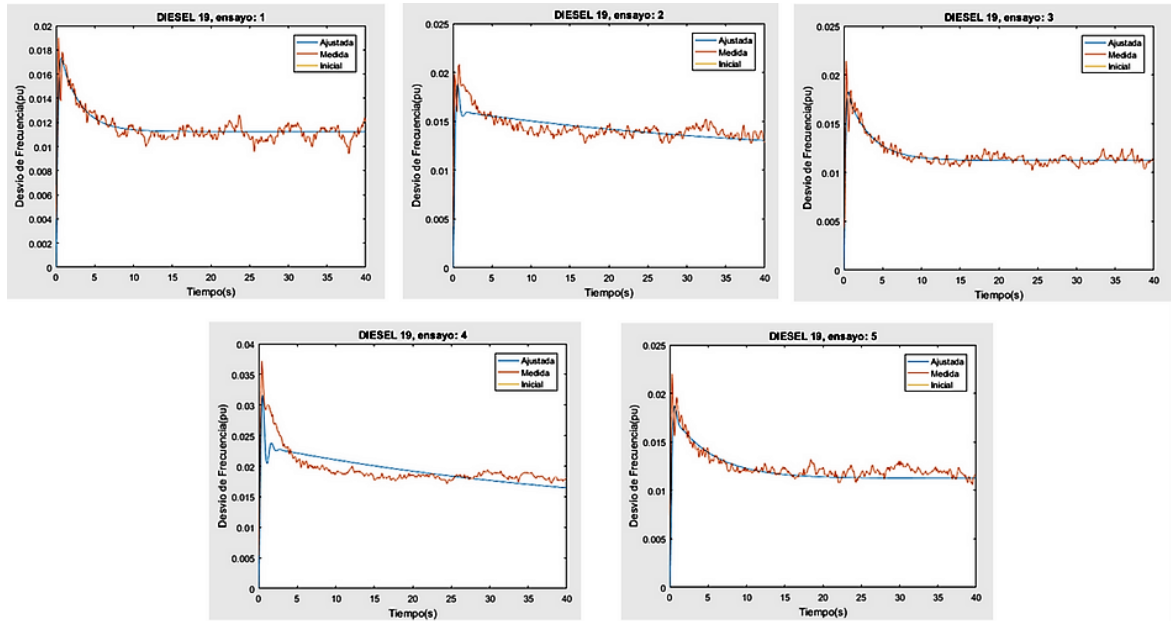


Figura 42. Ajuste por ensayo: DIESEL 19

	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo 4		Ensayo 5	
	R	H	R	H	R	H	R	H	R	H
Diésel 19	0,10527	1,0682	0,099029	1,1517	0,096934	1,0108	0,058552	1,0812	0,095108	1,2142

4-3.2. Ajuste simultáneo

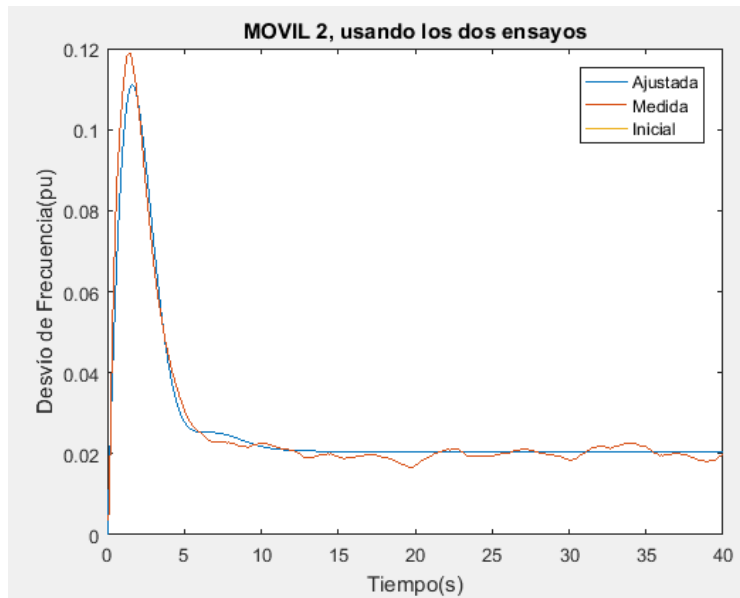


Figura 43. Ajuste simultáneo: MOVIL 2

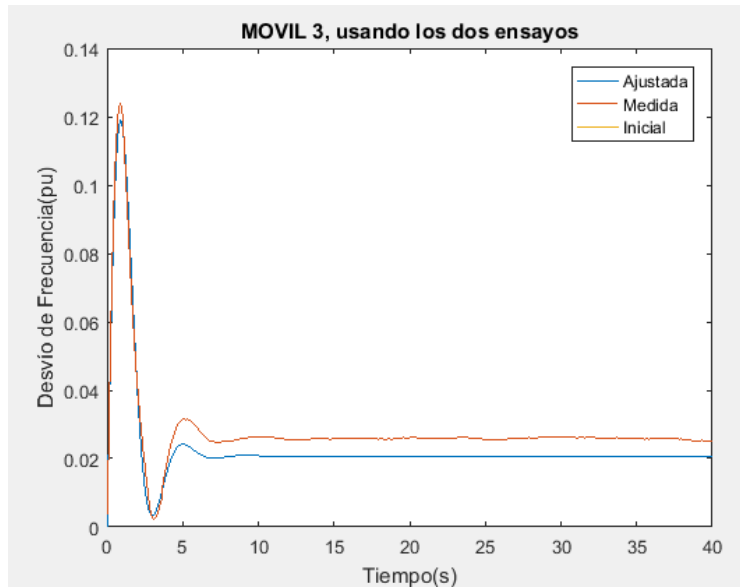


Figura 44. Ajuste simultáneo: MOVIL 3

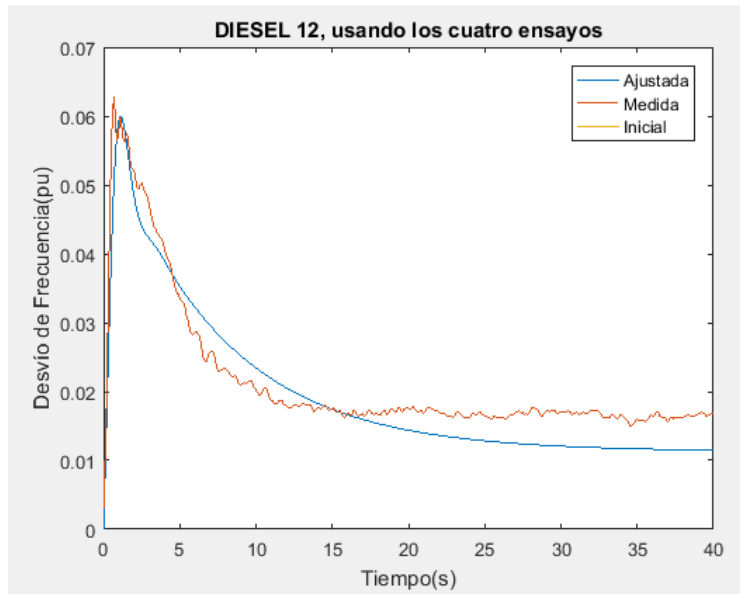


Figura 45. Ajuste simultáneo: DIESEL 12

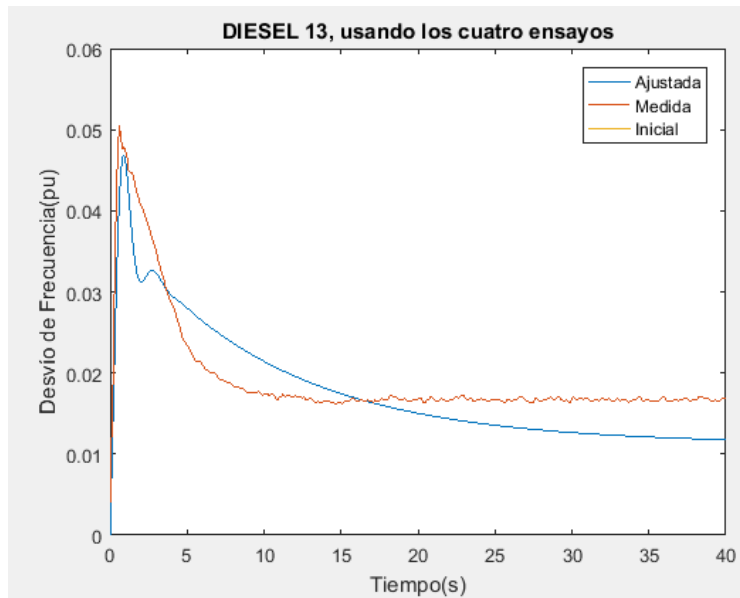


Figura 46. Ajuste simultáneo: DIESEL 13

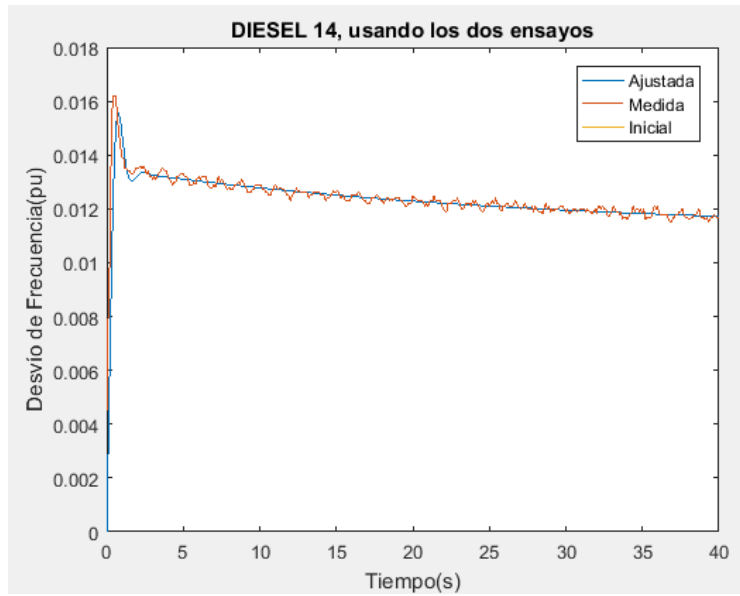


Figura 47. Ajuste simultáneo: DIESEL 14

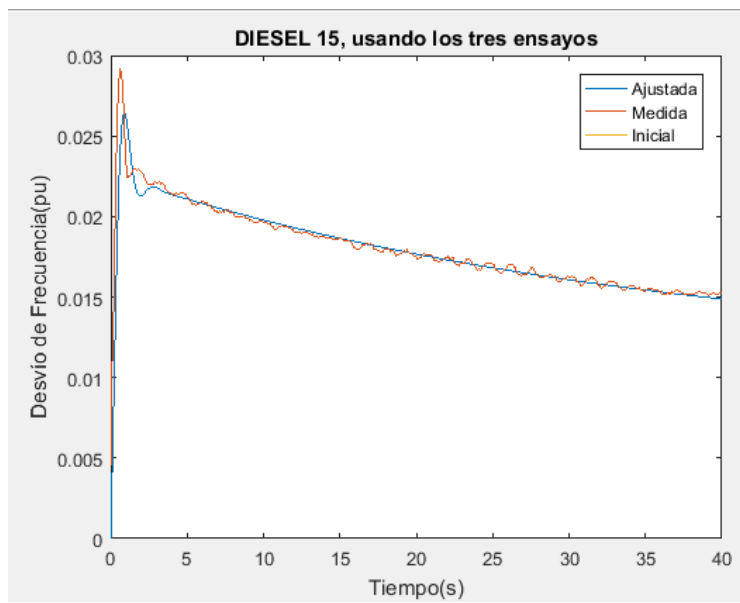


Figura 48. Ajuste simultáneo: DIESEL 15

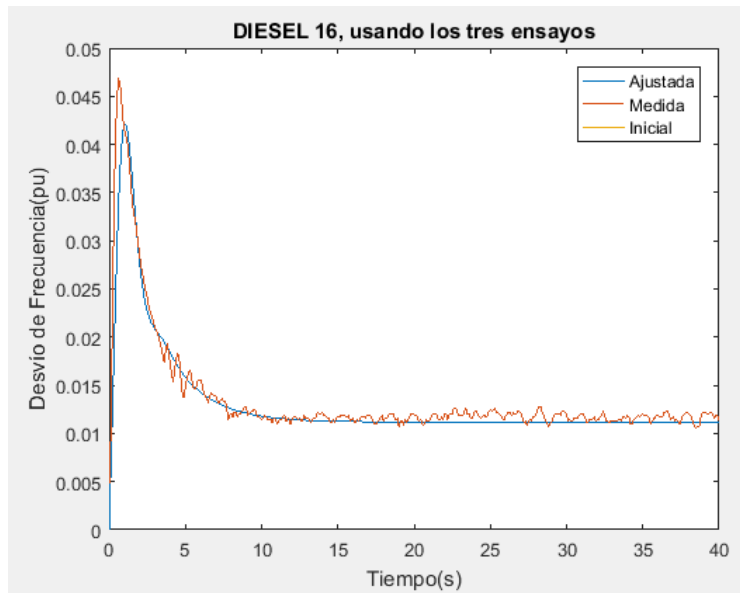


Figura 49. Ajuste simultáneo: DIESEL 16

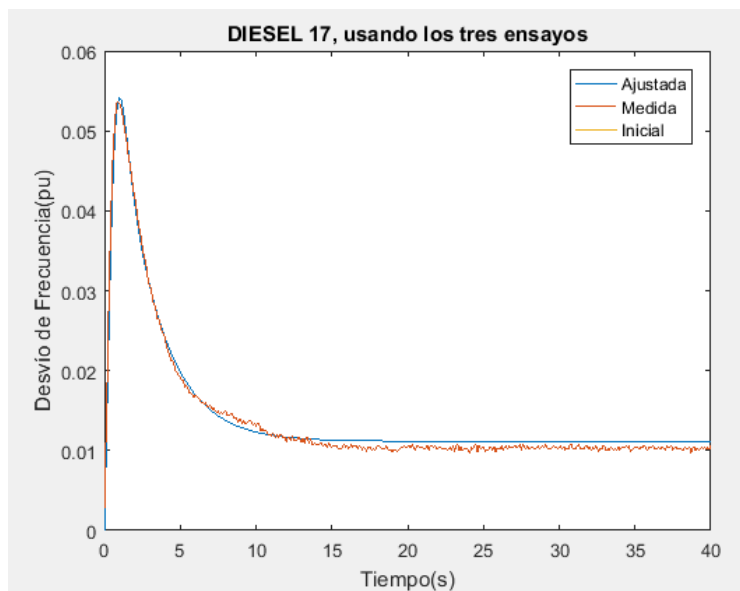


Figura 50. Ajuste simultáneo: DIESEL 17

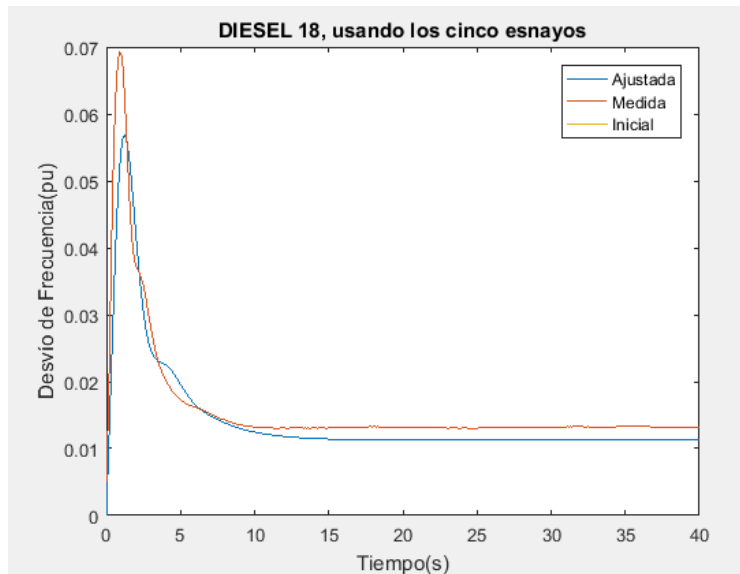


Figura 51. Ajuste simultáneo: DIESEL 18

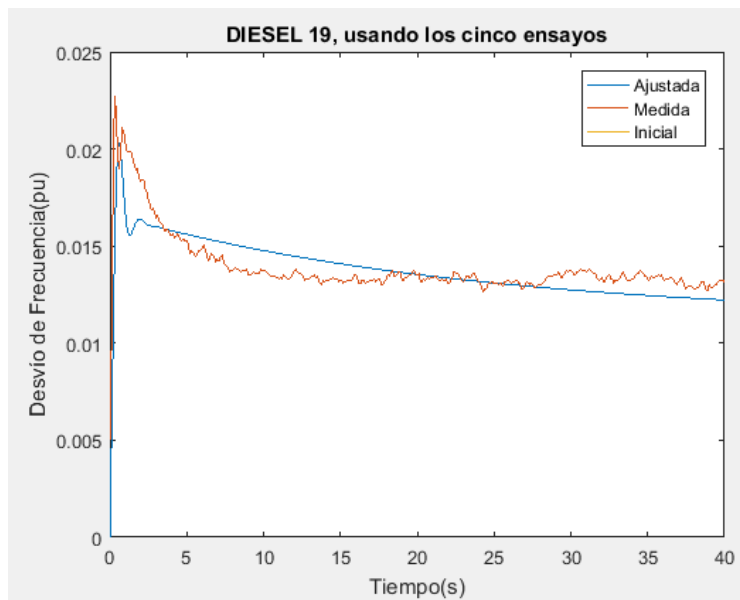


Figura 52. Ajuste simultáneo: DIESEL 19

4-3.3. Comparación de ambos ajustes

Esta tabla recoge el error total para cada generador, cuando se realiza un ajuste por ensayo, y cuando se realiza el ajuste simultáneo:

Generador	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Error medio	Ajuste simultáneo
MOVIL 2	0,8611	0,58284	x	x	x	0,84981	0,69979
MOVIL 3	1,7977	3,4448	x	x	x	2,62125	2,0159
DIESEL 12	1,4743	1,3677	1,4674	1,8087	x	1,529525	1,3902
DIESEL 13	0,51505	1,5739	1,2397	1,3057	x	1,1585875	1,413
DIESEL 14	0,1783	0,089623	x	x	x	0,1339615	0,072245
DIESEL 15	0,26879	0,19657	0,16585	x	x	0,21040333	0,13163
DIESEL 16	1,3566	0,29141	1,6821	x	x	1,11003667	0,31897
DIESEL 17	2,3778	0,20212	1,4903	x	x	1,35674	0,30979
DIESEL 18	0,29009	0,54398	1,2739	1,0766	1,5509	0,947094	0,882
DIESEL 19	0,18803	0,28741	0,15983	0,58985	0,24967	0,294958	0,32718

Figura 53. Error total (pu) por generador para los ajustes con cada ensayo y para el ajuste simultáneo

A continuación, se realizará el último paso de todo proceso de identificación de parámetros, la validación del modelo. Para ello, se analizará uno a uno los distintos generadores siguiendo los pasos que se explican en la *Revisión del Estado del Arte*, de acuerdo con [Ljung'94].

MOVIL 2

Se observa que, tanto con las dos medidas por separado como cuando se realiza el ajuste simultáneo, el resultado es muy robusto. No obstante, el error total es mínimo con el segundo ensayo, aunque mediante el ajuste simultáneo también sale un error pequeño, por lo que estos dos grupos de parámetros serían los más adecuados.

MOVIL 3

Si se observan las gráficas de este generador con los dos grupos de medidas por separado, se ve que el final del transitorio no es conseguido satisfactoriamente, por lo que había que despreciar los modelos para estas medidas. Sin embargo, en el ajuste simultáneo se consigue un transitorio con mayor precisión, aunque con un error total considerable (2,01). El modelo puede ser válido, aunque cabe destacar, que para ambos tipos de ajustes este es el generador que más error presenta con diferencia, y por tanto es el peor ajuste realizado.

DIESEL 12

Tanto el ajuste realizado con el segundo ensayo, como el simultáneo son los únicos que serán válidos, aunque no consiguen a la perfección el valor final de la referencia. Los otros tres ajustes presentan unas curvas menos precisas y un error más alto, lo que hace que sean despreciados.

DIESEL 13

Para este grupo, el único ajuste válido es aquel realizado con las medidas del ensayo uno, ya que sigue correctamente a la referencia y presenta el menor error (0,5). Los demás ajustes se desvían significativamente de la medida, tanto en el transitorio como en el valor final, y como consecuencia tienen un error alto.

DIESEL 14

Cabe destacar que este es el generador que presenta un ajuste con un menor error. Tanto en el ajuste con cada ensayo, como en el ajuste simultáneo, las curvas ajustadas se parecen significativamente a las curvas de medidas, y los errores son de 0,072 para el ajuste simultáneo, de 0,08 para el ajuste con las medidas del segundo ensayo y de 0,17 con las del primero. Por tanto, los tres ajustes son buenos, tomando el simultáneo como el mejor.

DIESEL 15

Todos los ajustes se dan por válidos para este grupo, sin embargo, en todos ellos el sobrepaso máximo se desvía ligeramente de la medida. Por lo demás son muy buenos ajustes, destacando entre todos ellos el ajuste simultáneo con un error de 0,13 y aquel realizado con el tercer ensayo un error de 0,13.

DIESEL 16

Igual que ocurre con el generador anterior, este presenta muy buenos ajustes, aunque no lleguen al sobrepaso máximo de manera precisa. Estos ajustes son el del ensayo segundo y simultáneo, que presentan errores de 0,29 y 0,31 respectivamente. No obstante, para los otros dos ensayos (primero y tercero) no se consigue llegar al valor final y el error es alto, por lo que se desprecian ambos ajustes.

DIESEL 17

Sin duda los mejores ajustes son el realizado con el segundo ensayo y el simultáneo, los cuales presentan errores de 0,2 y 0,3 respectivamente. Los otros dos ajustes se desprecian directamente debido al alto error que presentan, el desvío en el valor final, así como un transitorio mal caracterizado.

DIESEL 18

Los mejores ajustes son los asociados a los ensayos uno y dos tanto por el preciso seguimiento a la referencia, como por el error que presentan (0,29 y 0,54). El

ajuste simultáneo no es tan bueno ya que no consigue llegar al valor final. Los otros tres ajustes se desprecian por su mal seguimiento de la referencia.

DIESEL 19

Finalmente, el ajuste simultáneo de este grupo se desvía ligeramente del valor final, pero lo que nos hace despreciarlo es el transitorio, el cual no está nada conseguido. Lo mismo ocurre con los ajustes haciendo uso del segundo y cuarto ensayo. Los ajustes con los ensayos primero y quinto son buenos. Sin embargo, el mejor ajuste es sin duda aquel realizado con las medidas del ensayo 3, el cual sigue muy bien a la medida y presenta un error bajo (0,15).

5. Conclusiones

Este proyecto ha tratado el problema que lleva el ajustar los parámetros para un modelo determinado, en concreto, un modelo que mide el desvío de frecuencia de un generador diésel cuando éste cae.

El objetivo ha sido ajustar estos modelos para que sean robustos y que luego se pueda simular con ellos diferentes situaciones que pueda afrontar un sistema. Estas simulaciones, desarrolladas mediante un software, pueden ser de gran utilidad, en especial en sistemas insulares como es el caso de la Isla de La Palma, ya que gracias a ellas se pueden crear situaciones hipotéticas mediante un programa y así anticipar problemas que puedan aparecer en la red. Una vez se conocen las consecuencias, se pueden desarrollar sistemas de regulación adecuados.

Esta construcción de modelos se ha realizado mediante una optimización de parámetros. Se introducían ciertos parámetros de inicialización al programa, y estos se modificaban en función de la curva de medida (referencia) a seguir.

El programa devuelve sus resultados en toda simulación, pero es el usuario, el que tras observar los resultados tiene que sacar conclusiones de la robustez del mismo. Se ha podido observar que en algunos casos se ha tenido que despreciar el modelo ajustado, ya que este se alejaba de la realidad y tenía un error considerable.

También vale la pena destacar que esta herramienta es útil para muchos casos. El programa se centra principalmente en la Central Eléctrica de Los Guinchos, debido a que se ha trabajado con medidas de desvío de frecuencia tomadas en dicha Central. Sin embargo, el software desarrollado podría ser válido para cualquier Central de Generación Diésel, siempre que se cuente con las medidas necesarias, y se realicen pequeños cambios en el programa.

Como último apunte de este proyecto habría que mencionar las mejoras y sistemas que se podrían añadir en un futuro:

- Para todos los ensayos en los que se han tenido que despreciar los parámetros obtenidos, habría que buscar otro modelo o añadir ciertas correcciones al presente, para así disminuir el error y obtener parámetros que ajusten el modelo a la medida
- Desarrollar un sistema de regulación primaria que en caso de caída de alguno o varios grupos generadores reestablezca la frecuencia de la red.

En conclusión, se ha desarrollado un modelo lo más robusto posible que en la mayoría de los casos consigue respuestas que se ajustan a la medida. Es en los casos en los que el resultado no ha sido del todo satisfactorio en el que se centrarán los trabajos futuros.

6. Bibliografía

[Echevarren'15]

Echevarren Cerezo, F. M. (2015). Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia. Universidad Pontificia Comillas.

[Ljung'94]

Ljung, L. (1994). From Data to Model: A Guided Tour. International Conference Control (21-24 March, 1994), University of Warwick, IEEE Conference Publication No. 389, pp. 422-430

[Mao'14]

Mao, D., Qiu, J., Shi, C. (2014). Identification of Self-Tuning Induction Motor Drive System Bases on Improved Least-square Algorithm. 17th international Conference on Electrical Machines and Systems(ICEMS), Oct. 22-25, 2014, Hangzhou, China

[Miller'12]

Miller, S.J. (2012). The Method of Least Squares. Brown University. Providence, RI 02912

[Rouco'99]

Rouco, L., J. L. Zamora, et al. (1999). A Comprehensive Tool for Identification of Excitation and Speed-governing Systems for Power System Stability Studies. 13th Power Systems Computation Conference (PSCC '99), Trondheim (Norway).

[Siemens'09]

Siemens Energy, Inc. (Revised June 2009) PSS®E 32.0. PSS®E Model Library.

[Sigirist'10]

Sigirist, L. (2010). Diseño de Esquemas de deslastre de cargas por frecuencias de pequeños sistemas aislados (pp. 37-45). Universidad Pontificia Comillas.

[Sigirist'15]

Sigirist, L., Fernández F. (noviembre 2015). Accionamientos eléctricos-Cap 2. Universidad Pontificia Comillas.

A. PROGRAMA: MATLAB

A continuación, se adjuntan las tres funciones que se han desarrollado para este proyecto:

A-1. Modelo

```
function Modelo

warning off %No mostrar warnings

clear
close all

load('s_data.mat'); %Variable que contiene estructura s_data con varias medidas
por generador

ModeloSimulink = 'BloqueModelo'; %Asociamos un nombre al modelo de Simulink

load_system(ModeloSimulink); %Abre Simulink, sin abrirlo físicamente

tEscalon=0; %Momento en el que se produce el escalón
tSimu=40; %Tiempo de simulación

n=1; %Número de ensayos a usar(1->un ensayo; 2->media de todos los ensayos)

k=5; %Ensayo k-ésimo. Este ensayo será el usado para determinar el
%el estatismo y el momento de inercia. También si n=1, el ensayo
%k-ésimo será el usado para el modelo. Puede valer 1,2,3,4 o 5

s=10; %Variable para el bucle for(10 generadores)

for c=1:s %Para k=3 o más, entra en el bucle para c=3,4,6,7,8,9 y 10

    Medidas=s_data(c);
    DibujarMedidas(Medidas,c);
    %Valor de las variables del modelo(Inicialización)
    T1=15; %Parámetros de la función de transferencia
    T2=5;
    T3=5;
    delta=0.2;

    if c==1 || c==2 || c==5

        if k<3
            deltaPe=s_data(c).s_medida(k).pgen/s_data(c).s_medida(k).mbase;
            %Decremento de la potencia en pu
            deltaT=s_data(c).s_medida(k).t(2)-s_data(c).s_medida(k).t(1);
            %Paso de integración

            %Propiedades de la máquina
            %Estatismo en unitarias
            if c==1 || c==2
```

```

        for r=351:401 %Medidas entre los 35 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
            deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/50;
            R=(deltaomega/50)/deltaPe;
        end
    else
        for r=311:401 %Medidas entre los 31 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
            deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/90;
            R=(deltaomega/50)/deltaPe;
        end
    end

    %Momento de inercia
    denom=((s_data(c).s_medida(k).data(4,3)-
s_data(c).s_medida(k).data(1,3))/50)/deltaT/3;
    J=deltaPe/denom;
    H=0.5*J;
else
    disp('Para este generador solo se han realizado dos ensayos')
end
elseif c==3 || c==4
    if k<5
        deltaPe=s_data(c).s_medida(k).pgen/s_data(c).s_medida(k).mbase;
%Decremento de la potencia en pu
        deltaT=s_data(c).s_medida(k).t(2)-s_data(c).s_medida(k).t(1);
%Paso de integración

        %Propiedades de la máquina
        %Estadismo en unitarias
        if c==1 || c==2
            for r=351:401 %Medidas entre los 35 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
                deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/50;
                R=(deltaomega/50)/deltaPe;
            end
        else
            for r=311:401 %Medidas entre los 31 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
                deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/90;
                R=(deltaomega/50)/deltaPe;
            end
        end

        %Momento de inercia
        denom=((s_data(c).s_medida(k).data(4,3)-
s_data(c).s_medida(k).data(1,3))/50)/deltaT/3;
        J=deltaPe/denom;
        H=0.5*J;
    else
        disp('Para este generador solo se han realizado cuatro ensayos')
    end
elseif c==6 || c==7 || c==8
    if k<4
        deltaPe=s_data(c).s_medida(k).pgen/s_data(c).s_medida(k).mbase;
%Decremento de la potencia en pu
        deltaT=s_data(c).s_medida(k).t(2)-s_data(c).s_medida(k).t(1);
%Paso de integración

```

```

        %Propiedades de la máquina
        %Estatismo en unitarias
        if c==1 || c==2
            for r=351:401 %Medidas entre los 35 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
                deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/50;
                R=(deltaomega/50)/deltaPe;
            end
        else
            for r=311:401 %Medidas entre los 31 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
                deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/90;
                R=(deltaomega/50)/deltaPe;
            end
        end

        %Momento de inercia
        denom=((s_data(c).s_medida(k).data(4,3)-
s_data(c).s_medida(k).data(1,3))/50)/deltaT/3;
        J=deltaPe/denom;
        H=0.5*J;
    else
        disp('Para este generador solo se han realizado tres ensayos')
    end
elseif c==9 || c==10

        deltaPe=s_data(c).s_medida(k).pgen/s_data(c).s_medida(k).mbase;
%Decremento de la potencia en pu
        deltaT=s_data(c).s_medida(k).t(2)-s_data(c).s_medida(k).t(1); %Paso de
integración

        %Propiedades de la máquina
        %Estatismo en unitarias
        if c==1 || c==2
            for r=351:401 %Medidas entre los 35 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
                deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/50;
                R=(deltaomega/50)/deltaPe;
            end
        else
            for r=311:401 %Medidas entre los 31 y los 40 segundos de la
simulación(régimen permanente)
                deltaomega=sum(s_data(c).s_medida(k).data(r,3))/90;
                R=(deltaomega/50)/deltaPe;
            end
        end

        %Momento de inercia
        denom=((s_data(c).s_medida(k).data(4,3)-
s_data(c).s_medida(k).data(1,3))/50)/deltaT/3;
        J=deltaPe/denom;
        H=0.5*J;
    end

    %Variables tipo de modelo
    %HayRetraso si hay retraso vale 1, si no lo hay vale 0
    %nCeros Número de ceros de la función de transferencia(0 o 1)

```

```

%nPolos      Número de polos de la función de transferencia(1 o 2)

if c==1
    HayRetraso=0;
    nCeros=1;
    nPolos=2;
elseif c==2
    HayRetraso=0;
    nCeros=1;
    nPolos=2;
elseif c==3
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
elseif c==4
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
elseif c==5
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
elseif c==6
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
elseif c==7
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
elseif c==8
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
elseif c==9
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
elseif c==10
    HayRetraso=1;
    nCeros=1;
    nPolos=1;
end

%Valores iniciales

if HayRetraso==1
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            v_x0 = [T1, T2, T3, delta];
        elseif nPolos==1
            v_x0 = [T1, T3, delta];
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    elseif nCeros==0
        if nPolos==2
            v_x0 = [T1, T2, delta];
        end
    end
end

```

```

elseif nPolos==1
    v_x0 = [T1, delta];
else
    disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
end
else
    disp('El número de ceros tiene que ser 1 o 0');
end
elseif HayRetraso==0
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            v_x0 = [T1, T2, T3];
        elseif nPolos==1
            v_x0 = [T1, T3];
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    elseif nCeros==0
        if nPolos==2
            v_x0 = [T1, T2];
        elseif nPolos==1
            v_x0 = T1;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    else
        disp('El número de ceros tiene que ser 1 o 0');
    end
else
    disp('La variable HayRetraso vale 1 si lo hay, y 0 si no lo hay');
end

options = optimoptions(@lsqnonlin,'Algorithm','levenberg-marquardt',...
    'Display','iter','DiffMinChange',0.00001,'StepTolerance',1e-
6,'OptimalityTolerance',1e-6,'FunctionTolerance',1e-6); %Crea opciones de
optimización para 'lsqnonlin'
if c==1 || c==2 || c==5
    if k<3
        v_x = lsqnonlin(@(v_x)
DeterminaError(H,R,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,t
Escalon,deltaT,tSimu,n,c,k),v_x0,[0.5 0 0 0],[130 110 110 0.2],options);
        %Función que determina el mínimo error en valor absoluto de una
función
        v_error = DeterminaError(H,R,v_x, deltaPe, ModeloSimulink,
Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEscalon,deltaT,tSimu,n,c,k);
        etot=sum(v_error); %Suma todos los errores
    else
        v_x=0;
        etot=0;
    end
elseif c==3 || c==4
    if k<5
        v_x = lsqnonlin(@(v_x)
DeterminaError(H,R,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,t
Escalon,deltaT,tSimu,n,c,k),v_x0,[0.5 0 0 0],[130 110 110 0.2],options);
        v_error = DeterminaError(H,R,v_x, deltaPe, ModeloSimulink,
Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEscalon,deltaT,tSimu,n,c,k);
        etot=sum(v_error);
    end
end

```



```

else
    v_x=0;
    etot=0;
end
elseif c==6 || c==7 || c==8
    if k<4
        v_x = lsqnonlin(@(v_x)
DeterminaError(H,R,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,t
Escalon,deltaT,tSimu,n,c,k),v_x0,[0.5 0 0 0],[130 110 110 0.2],options);
        v_error = DeterminaError(H,R,v_x, deltaPe, ModeloSimulink,
Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEscalon,deltaT,tSimu,n,c,k);
        etot=sum(v_error);
    else
        v_x=0;
        etot=0;
    end
elseif c==9 || c==10
    v_x = lsqnonlin(@(v_x)
DeterminaError(H,R,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,t
Escalon,deltaT,tSimu,n,c,k),v_x0,[0.5 0 0 0],[130 110 110 0.2],options);
    v_error = DeterminaError(H,R,v_x, deltaPe, ModeloSimulink,
Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEscalon,deltaT,tSimu,n,c,k);
    etot=sum(v_error);
end

disp('Valor de los parámetros del modelo para el generador:');

if n==1
    if c==1
        disp(['MOVIL 2, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==2
        disp(['MOVIL 3, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==3
        disp(['DIESEL 12, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==4
        disp(['DIESEL 13, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==5
        disp(['DIESEL 14, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==6
        disp(['DIESEL 15, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==7
        disp(['DIESEL 16, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==8
        disp(['DIESEL 17, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==9
        disp(['DIESEL 18, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==10
        disp(['DIESEL 19, ensayo: ',num2str(k)]);
    end
elseif n==2 && c==1
    disp('MOVIL 2, usando los dos ensayos');
elseif n==2 && c==2
    disp('MOVIL 3, usando los dos ensayos');
elseif n==2 && c==3
    disp('DIESEL 12, usando los cuatro ensayos');
elseif n==2 && c==4
    disp('DIESEL 13, usando los cuatro ensayos');
elseif n==2 && c==5

```

```

disp('DIESEL 14, usando los dos ensayos');
elseif n==2 && c==6
disp('DIESEL 15, usando los tres ensayos');
elseif n==2 && c==7
disp('DIESEL 16, usando los tres ensayos');
elseif n==2 && c==8
disp('DIESEL 17, usando los tres ensayos');
elseif n==2 && c==9
disp('DIESEL 18, usando los cinco ensayos');
elseif n==2 && c==10
disp('DIESEL 19, usando los cinco ensayos');
end

disp(v_x); %Muestra v_x en la Command Window

disp(['El error total es:',num2str(etot)]);

if c==1 || c==2 || c==5
if k<3

Dibujar(H,R,v_x0,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEs
calon,deltaT,tSimu,n,c,k);
%Muestra las gráficas medida, simulada inicial y simulada con ajuste
end
elseif c==3 || c==4
if k<5

Dibujar(H,R,v_x0,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEs
calon,deltaT,tSimu,n,c,k);
end
elseif c==6 || c==7 || c==8
if k<4

Dibujar(H,R,v_x0,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEs
calon,deltaT,tSimu,n,c,k);
end
elseif c==9 || c==10

Dibujar(H,R,v_x0,v_x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEs
calon,deltaT,tSimu,n,c,k);
end
end
end

```

A-2. DeterminaError

```
function v_error =
DeterminaError(H,R,x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,t
Escalon,deltaT,tSimu,n,c,k)

%Valor de las variables en función del tipo de modelo
if HayRetraso==1
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            T1=x(1);
            T2=x(2);
            T3=x(3);
            delta=x(4);
        elseif nPolos==1
            T1=x(1);
            T3=x(2);
            delta=x(3);
            T2=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2')
        end
    elseif nCeros==0
        if nPolos==2
            T1=x(1);
            T2=x(2);
            delta=x(3);
            T3=0;
        elseif nPolos==1
            T1=x(1);
            delta=x(2);
            T2=0;
            T3=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    else
        disp('El número de ceros tiene que ser 1 o 0');
    end
elseif HayRetraso==0
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            T1=x(1);
            T2=x(2);
            T3=x(3);
            delta=0;
        elseif nPolos==1
            T1=x(1);
            T3=x(2);
            T2=0;
            delta=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    end
end
```

```

        end
    elseif nCeros==0
        if nPolos==2
            T1=x(1);
            T2=x(2);
            T3=0;
            delta=0;
        elseif nPolos==1
            T1=x(1);
            T2=0;
            T3=0;
            delta=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    else
        disp('El número de ceros tiene que ser 1 o 0');
    end
end
disp('La variable HayRetraso vale 1 si lo hay, y 0 si no lo hay');
end

%Definimos la variable 'b' para entrar en el bucle, ya que según el
%generador a analizar hay distintos grupos de medidas
if n==1 && c==1 %Un único ensayo
    if k<3
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay dos grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==2
    if k<3
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay dos grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==3
    if k<5
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay cuatro grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==4
    if k<5
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay cuatro grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==5
    if k<3
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay dos grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==6

```

```

    if k<4
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay tres grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==7
    if k<4
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay tres grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==8
    if k<4
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay tres grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==9
    b=k;
elseif n==1 && c==10
    b=k;
elseif n==2 && c==1 %A partir de aquí, todos los ensayos simultáneos
    b=2;
elseif n==2 && c==2
    b=2;
elseif n==2 && c==3
    b=4;
elseif n==2 && c==4
    b=4;
elseif n==2 && c==5
    b=2;
elseif n==2 && c==6
    b=3;
elseif n==2 && c==7
    b=3;
elseif n==2 && c==8
    b=3;
elseif n==2 && c==9
    b=5;
elseif n==2 && c==10
    b=5;
end

if n==1 && c==1
    if k<3
        v_Medida=(Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50;
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==2
    if k<3
        v_Medida=(Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50;
    else
        disp('No hace nada');
    end
end

```

```

elseif n==1 && c==3
    if k<5
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==4
    if k<5
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==5
    if k<3
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==6
    if k<4
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==7
    if k<4
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==8
    if k<4
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==9
    v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
elseif n==1 && c==10
    v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
else
    %h-> Variable para el bucle for
    for h=2:b
        if h==2
            v_Medidas=((Medidas.s_medida(h-1).data(:,3)-
50)/50)+((Medidas.s_medida(h).data(:,3)-50)/50);
        else
            Inicializacion=v_Medidas;
            v_Medidas=Inicializacion+((Medidas.s_medida(h).data(:,3)-50)/50);
        end
    end
    v_Medida=v_Medidas/b;
end

```

```

set_param([ModeloSimulink '/Step'],'after',['[' sprintf('%f',-deltaPe)
']]','before','0',...
    'time',sprintf('%f ',tEscalon),'sampletime','0');
set_param([ModeloSimulink '/Inercia'],'Numerator', '[0 1]',...
    'Denominator', ['[2*', sprintf('%f',H), ' 0]']);
set_param([ModeloSimulink '/Estatismo'],'Gain', ['[' sprintf('%f',-1/R),
']]');
set_param([ModeloSimulink '/Transfer Fcn'],'Numerator', ['[' sprintf('%f
',[T3 1]), ' ]']],...
    'Denominator', ['[' sprintf('%f ',[T2 T1 1]), ' ]']],...);
set_param([ModeloSimulink '/Transport Delay'],'DelayTime', ['[' sprintf('%f
',delta), ' ]']],...);

simoptions= simset('FixedStep', sprintf('%f ',deltaT));
[v_Tiempo,m_Estados,m_Salidas] = sim(ModeloSimulink,tSimu,simoptions);

v_Frecuencia = m_Salidas(:,1); %Ajuste

v_dif=(v_Medida-v_Frecuencia); %Vector diferencia entre Medida y Modelo

v_error=abs(v_dif); %Vector error

end

```

A-3. Dibujar

```
function
Dibujar(H,R,x0,x,deltaPe,ModeloSimulink,Medidas,HayRetraso,nCeros,nPolos,tEsca
lon,deltaT,tSimu,n,c,k)

if HayRetraso==1
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            T1=x0(1);
            T2=x0(2);
            T3=x0(3);
            delta=x0(4);
        elseif nPolos==1
            T1=x0(1);
            T3=x0(2);
            delta=x0(3);
            T2=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2')
        end
    elseif nCeros==0
        if nPolos==2
            T1=x0(1);
            T2=x0(2);
            delta=x0(3);
            T3=0;
        elseif nPolos==1
            T1=x0(1);
            delta=x0(2);
            T2=0;
            T3=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    else
        disp('El número de ceros tiene que ser 1 o 0');
    end
elseif HayRetraso==0
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            T1=x0(1);
            T2=x0(2);
            T3=x0(3);
            delta=0;
        elseif nPolos==1
            T1=x0(1);
            T3=x0(2);
            T2=0;
            delta=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    end
end
```



```

elseif nCeros==0
    if nPolos==2
        T1=x0(1);
        T2=x0(2);
        T3=0;
        delta=0;
    elseif nPolos==1
        T1=x0(1);
        T2=0;
        T3=0;
        delta=0;
    else
        disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
    end
else
    disp('El número de ceros tiene que ser 1 o 0');
end
end
disp('La variable HayRetraso vale 1 si lo hay, y 0 si no lo hay');
end

%Definimos la variable 'b' para entrar en el bucle, ya que según el
%generador a analizar hay distintos grupos de medidas
if n==1 && c==1 %Un único ensayo
    if k<3
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay dos grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==2
    if k<3
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay dos grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==3
    if k<5
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay cuatro grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==4
    if k<5
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay cuatro grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==5
    if k<3
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay dos grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==6
    if k<4

```

```

        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay tres grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==7
    if k<4
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay tres grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==8
    if k<4
        b=k;
    else
        disp('Para este generador solo hay tres grupos de medidas');
    end
elseif n==1 && c==9
    b=k;
elseif n==1 && c==10
    b=k;
elseif n==2 && c==1 %A partir de aquí, todos los ensayos simultáneos
    b=2;
elseif n==2 && c==2
    b=2;
elseif n==2 && c==3
    b=4;
elseif n==2 && c==4
    b=4;
elseif n==2 && c==5
    b=2;
elseif n==2 && c==6
    b=3;
elseif n==2 && c==7
    b=3;
elseif n==2 && c==8
    b=3;
elseif n==2 && c==9
    b=5;
elseif n==2 && c==10
    b=5;
end

if n==1 && c==1
    if k<3
        v_Medida=(Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50;
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==2
    if k<3
        v_Medida=(Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50;
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==3

```

```

if k<5
    v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
else
    disp('No hace nada');
end
elseif n==1 && c==4
    if k<5
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==5
    if k<3
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==6
    if k<4
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==7
    if k<4
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==8
    if k<4
        v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
    else
        disp('No hace nada');
    end
elseif n==1 && c==9
    v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
elseif n==1 && c==10
    v_Medida=((Medidas.s_medida(b).data(:,3)-50)/50);
else
    %h-> Variable para el bucle for
    for h=2:b
        if h==2
            v_Medidas=((Medidas.s_medida(h-1).data(:,3)-
50)/50)+((Medidas.s_medida(h).data(:,3)-50)/50);
        else
            Inicializacion=v_Medidas;
            v_Medidas=Inicializacion+((Medidas.s_medida(h).data(:,3)-50)/50);
        end
    end
    v_Medida=v_Medidas/b;
end

set_param([ModeloSimulink '/Step'],'after',['[' sprintf('%f',-deltaPe)
']'],'before','0',...

```

```

    'time', sprintf('%f ',tEscalon),'sampletime','0');
set_param([ModeloSimulink '/Inercia'],'Numerator', '[0 1]',...
          'Denominator', ['[2*', sprintf('%f',H), ' 0]']);
set_param([ModeloSimulink '/Estatismo'],'Gain', ['[', sprintf('%f',-1/R),
          ']]');
set_param([ModeloSimulink '/Transfer Fcn'],'Numerator', ['[', sprintf('%f
          ',[T3 1]), ' ]'],...
          'Denominator', ['[', sprintf('%f ',[T2 T1 1]), ' ]']);
set_param([ModeloSimulink '/Transport Delay'],'DelayTime', ['[', sprintf('%f
          ',delta), ' ]']);

simoptions= simset('FixedStep', sprintf('%f ',deltaT));
[v_Tiempo0,m_Estados0,m_Salidas0] = sim(ModeloSimulink,tSimu,simoptions);

v_Frecuencia0 = m_Salidas0(:,1);

%Definimos ahora v_x

if HayRetraso==1
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            T1=x(1);
            T2=x(2);
            T3=x(3);
            delta=x(4);
        elseif nPolos==1
            T1=x(1);
            T3=x(2);
            delta=x(3);
            T2=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2')
        end
    elseif nCeros==0
        if nPolos==2
            T1=x(1);
            T2=x(2);
            delta=x(3);
            T3=0;
        elseif nPolos==1
            T1=x(1);
            delta=x(2);
            T2=0;
            T3=0;
        else
            disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
        end
    else
        disp('El número de polos tiene que ser 1 o 0');
    end
elseif HayRetraso==0
    if nCeros==1
        if nPolos==2
            T1=x(1);
            T2=x(2);

```

```

        T3=x(3);
        delta=0;
    elseif nPolos==1
        T1=x(1);
        T3=x(2);
        T2=0;
        delta=0;
    else
        disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
    end
elseif nCeros==0
    if nPolos==2
        T1=x(1);
        T2=x(2);
        T3=0;
        delta=0;
    elseif nPolos==1
        T1=x(1);
        T2=0;
        T3=0;
        delta=0;
    else
        disp('El número de polos solo puede ser 1 o 2');
    end
else
    disp('El número de ceros tiene que ser 1 o 0');
end
else
    disp('La variable HayRetraso vale 1 si lo hay, y 0 si no lo hay');
end

set_param([ModeloSimulink '/Step'],'after',['[' sprintf('%f',-deltaPe)
'],'before','0',...
    'time', sprintf('%f ',tEscalon),'sampletime','0']);
set_param([ModeloSimulink '/Inercia'],'Numerator', ['[0 1]',...
    'Denominator', ['[2*', sprintf('%f',H), ' 0]']]);
set_param([ModeloSimulink '/Estatismo'],'Gain', ['[' sprintf('%f',-1/R),
'],']);
set_param([ModeloSimulink '/Transfer Fcn'],'Numerator', ['[' sprintf('%f
',[T3 1]), ' ]'],...
    'Denominator', ['[' sprintf('%f ',[T2 T1 1]), ' ]']]);
set_param([ModeloSimulink '/Transport Delay'],'DelayTime', ['[' sprintf('%f
',delta), ' ]']]);

simoptions= simset('FixedStep', sprintf('%f ',deltaT));
[v_Tiempo,m_Estados,m_Salidas] = sim(ModeloSimulink,tSimu,simoptions);

v_Frecuencia = m_Salidas(:,1);

x = v_Tiempo;          %Definimos las variables a dibujar
y1 = v_Frecuencia;
y2 = v_Medida;
y3 = v_Frecuencia0;

figure;

```

```

plot(x,y1,x,y2,x,y3);           %Todas las funciones en la misma gráfica
xlabel('Tiempo(s)');           %Nombre del Eje x
ylabel('Desvío de Frecuencia(pu)'); %Nombre del Eje y
legend('Ajustada','Medida','Inicial'); %Leyenda

%Títulos
if n==1
    if c==1
        title(['MOVIL 2, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==2
        title(['MOVIL 3, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==3
        title(['DIESEL 12, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==4
        title(['DIESEL 13, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==5
        title(['DIESEL 14, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==6
        title(['DIESEL 15, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==7
        title(['DIESEL 16, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==8
        title(['DIESEL 17, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==9
        title(['DIESEL 18, ensayo: ',num2str(k)]);
    elseif c==10
        title(['DIESEL 19, ensayo: ',num2str(k)]);
    end
elseif n==2 && c==1
    title('MOVIL 2, usando los dos ensayos');
elseif n==2 && c==2
    title('MOVIL 3, usando los dos ensayos');
elseif n==2 && c==3
    title('DIESEL 12, usando los cuatro ensayos');
elseif n==2 && c==4
    title('DIESEL 13, usando los cuatro ensayos');
elseif n==2 && c==5
    title('DIESEL 14, usando los dos ensayos');
elseif n==2 && c==6
    title('DIESEL 15, usando los tres ensayos');
elseif n==2 && c==7
    title('DIESEL 16, usando los tres ensayos');
elseif n==2 && c==8
    title('DIESEL 17, usando los tres ensayos');
elseif n==2 && c==9
    title('DIESEL 18, usando los cinco ensayos');
elseif n==2 && c==10
    title('DIESEL 19, usando los cinco ensayos');
end

end

```

A-4. DibujarMedida

```
function DibujarMedida(Medidas,c)

if c==1 || c==2 || c==5
    v_Medida1=((Medidas.s_medida(1).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida2=((Medidas.s_medida(2).data(:,3)-50)/50);

    x = Medidas.s_medida(1).t;          %Definimos las variables a dibujar
    y1 = v_Medida1;
    y2 = v_Medida2;

    figure;
    plot(x,y1,x,y2);                  %Todas las funciones en la misma gráfica
    xlabel('Tiempo(s)');              %Nombre del Eje x
    ylabel('Desvío de Frecuencia(pu)'); %Nombre del Eje y
    legend('Ensayo 1','Ensayo 2'); %Leyenda

elseif c==3 || c==4
    v_Medida1=((Medidas.s_medida(1).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida2=((Medidas.s_medida(2).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida3=((Medidas.s_medida(3).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida4=((Medidas.s_medida(4).data(:,3)-50)/50);

    x = Medidas.s_medida(1).t;          %Definimos las variables a dibujar
    y1 = v_Medida1;
    y2 = v_Medida2;
    y3 = v_Medida3;
    y4 = v_Medida4;

    figure;
    plot(x,y1,x,y2,x,y3,x,y4);        %Todas las funciones en la misma gráfica
    xlabel('Tiempo(s)');              %Nombre del Eje x
    ylabel('Desvío de Frecuencia(pu)'); %Nombre del Eje y
    legend('Ensayo 1','Ensayo 2','Ensayo 3','Ensayo 4'); %Leyenda

elseif c==6 || c==7 || c==8
    v_Medida1=((Medidas.s_medida(1).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida2=((Medidas.s_medida(2).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida3=((Medidas.s_medida(3).data(:,3)-50)/50);

    x = Medidas.s_medida(1).t;          %Definimos las variables a dibujar
    y1 = v_Medida1;
    y2 = v_Medida2;
    y3 = v_Medida3;

    figure;
    plot(x,y1,x,y2,x,y3);            %Todas las funciones en la misma gráfica
    xlabel('Tiempo(s)');              %Nombre del Eje x
    ylabel('Desvío de Frecuencia(pu)'); %Nombre del Eje y
    legend('Ensayo 1','Ensayo 2','Ensayo 3'); %Leyenda
elseif c==9 || c==10
    v_Medida1=((Medidas.s_medida(1).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida2=((Medidas.s_medida(2).data(:,3)-50)/50);
    v_Medida3=((Medidas.s_medida(3).data(:,3)-50)/50);
```

```

v_Medida4=((Medidas.s_medida(4).data(:,3)-50)/50);
v_Medida5=((Medidas.s_medida(5).data(:,3)-50)/50);

x = Medidas.s_medida(1).t;      %Definimos las variables a dibujar
y1 = v_Medida1;
y2 = v_Medida2;
y3 = v_Medida3;
y4 = v_Medida4;
y5 = v_Medida5;

figure;
plot(x,y1,x,y2,x,y3,x,y4,x,y5);      %Todas las funciones en la misma
gráfica
xlabel('Tiempo(s)');                %Nombre del Eje x
ylabel('Desvío de Frecuencia(pu)'); %Nombre del Eje y
legend('Ensayo 1','Ensayo 2','Ensayo 3','Ensayo 4','Ensayo 5'); %Leyenda
end

if c==1
    title('Medidas del generador MOVIL 2');
elseif c==2
    title('Medidas del generador MOVIL 3');
elseif c==3
    title('Medidas del generador DIESEL 12');
elseif c==4
    title('Medidas del generador DIESEL 13');
elseif c==5
    title('Medidas del generador DIESEL 14');
elseif c==6
    title('Medidas del generador DIESEL 15');
elseif c==7
    title('Medidas del generador DIESEL 16');
elseif c==8
    title('Medidas del generador DIESEL 17');
elseif c==9
    title('Medidas del generador DIESEL 18');
elseif c==10
    title('Medidas del generador DIESEL 19');
end

```


B. MODELO: SIMULINK

El modelo que se ha usado en Simulink es el siguiente:

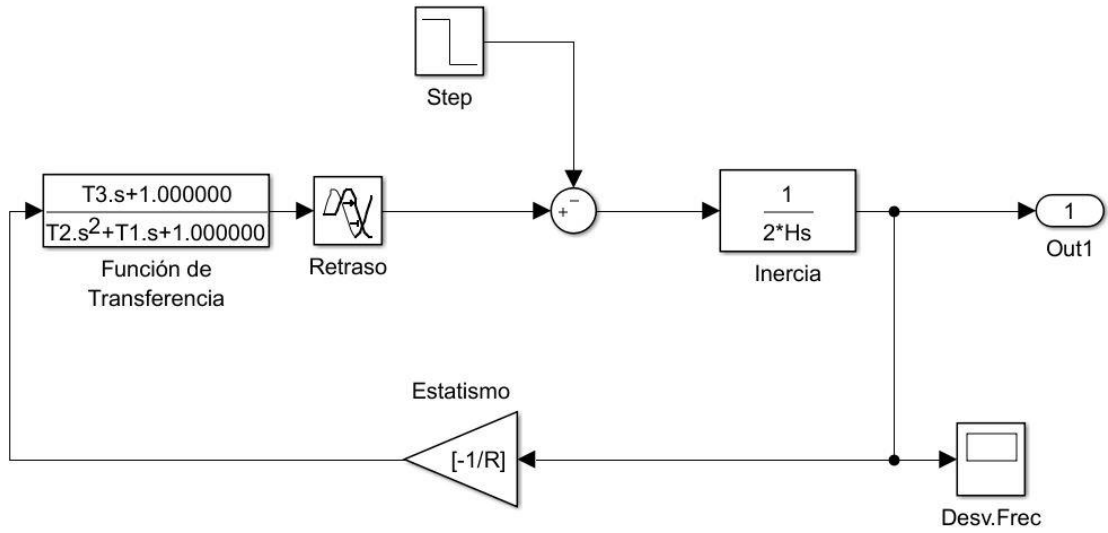


Figura 54. Modelo Simulink

C. VALORES DE LOS PARÁMETROS AJUSTADOS

MÓVIL 2: Parámetros [T1 T2 T3]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

MOVIL 2, ensayo: 1

20.9124 14.8339 3.3016

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

MOVIL 2, ensayo: 2

10.6647 4.1133 2.1129

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

MOVIL 2, usando los dos ensayos

16.0414 9.2785 2.9662

MÓVIL 3: Parámetros [T1 T2 T3]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

MOVIL 3, ensayo: 1

122.3075 110.0000 48.6703

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

MOVIL 3, ensayo: 2

4.8177 0.8096 0.4400

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

MOVIL 3, usando los dos ensayos

6.2351 1.5837 0.8722

DIÉSEL 12: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 12, ensayo: 1

24.2393 4.5105 0.3728

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 12, ensayo: 2

48.5584 8.8310 0.2655

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 12, ensayo: 3

42.6178 7.6425 0.2832

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 12, ensayo: 4

23.1777 5.4605 0.3887

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 12, usando los cuatro ensayos

37.1126 7.8691 0.4177

DIÉSEL 13: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 13, ensayo: 1

19.2036 3.7082 0.2253

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 13, ensayo: 2

43.2378 13.0522 0.2891

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 13, ensayo: 3

44.2665 16.9199 0.2562

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 13, ensayo: 4

69.9117 25.0853 0.2595

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 13, usando los cuatro ensayos

34.4044 10.4208 0.3735

DIÉSEL 14: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 14, ensayo: 1

8.2778 6.8600 0.2772

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 14, ensayo: 2

125.0869 101.7246 0.2490

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 14, usando los dos ensayos

31.6571 26.4231 0.2777

DIÉSEL 15: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 15, ensayo: 1

34.4627 16.9315 0.3328

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 15, ensayo: 2

120.8099 58.0428 0.3601

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 15, ensayo: 3

89.2582 47.2332 0.2114

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 15, usando los tres ensayos

70.5424 35.4426 0.3387

DIÉSEL 16: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 16, ensayo: 1

4.1949 1.4496 0.2815

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 16, ensayo: 2

8.0383 2.3578 0.2451

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 16, ensayo: 3

20.3466 4.1753 0.3009

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 16, usando los tres ensayos

9.6543 2.9408 0.4217

DIÉSEL 17: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 17, ensayo: 1

6.9776 1.5817 0.1521

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 17, ensayo: 2

13.2638 3.5257 0.4073

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 17, ensayo: 3

28.9042 4.6031 0.3384

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 17, usando los tres ensayos

14.8929 3.0603 0.3150

DIÉSEL 18: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 18, ensayo: 1

8.4572 2.5005 0.4017

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 18, ensayo: 2

8.9004 2.2465 0.4264

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 18, ensayo: 3

19.2474 3.0116 0.3289

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 18, ensayo: 4

17.0935 3.1037 0.4317

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 18, ensayo: 5

18.9893 3.1921 0.3971

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 18, usando los cinco ensayos

13.9897 3.2873 0.5214

DIÉSEL 19: Parámetros [T1 T3 delta]

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 19, ensayo: 1

4.1651 2.6668 0.1526

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 19, ensayo: 2

56.9570 39.9211 0.2156

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 19, ensayo: 3

5.0303 3.1494 0.1500

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 19, ensayo: 4

96.9163 47.0912 0.2226

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 19, ensayo: 5

8.3691 5.3609 0.1958

Valor de los parámetros del modelo para el generador:

DIESEL 19, usando los cinco ensayos

34.5734 23.4919 0.2388

