

# Tutorial básico de simulink

---

LA GUÍA PRÁCTICA PARA MODELIZAR SISTEMAS ELÉCTRICOS



# INICIÁNDOSE EN SIMULINK

- Inicialización y configuración inicial de Simulink
- Bloques comúnmente usados
- Ejemplo de sistema simple

The Simulink logo is displayed in a large, blue, serif font. The word "SIMULINK" is followed by a registered trademark symbol (®). The logo is centered horizontally on the right side of the slide.

# Inicialización y configuración de Simulink



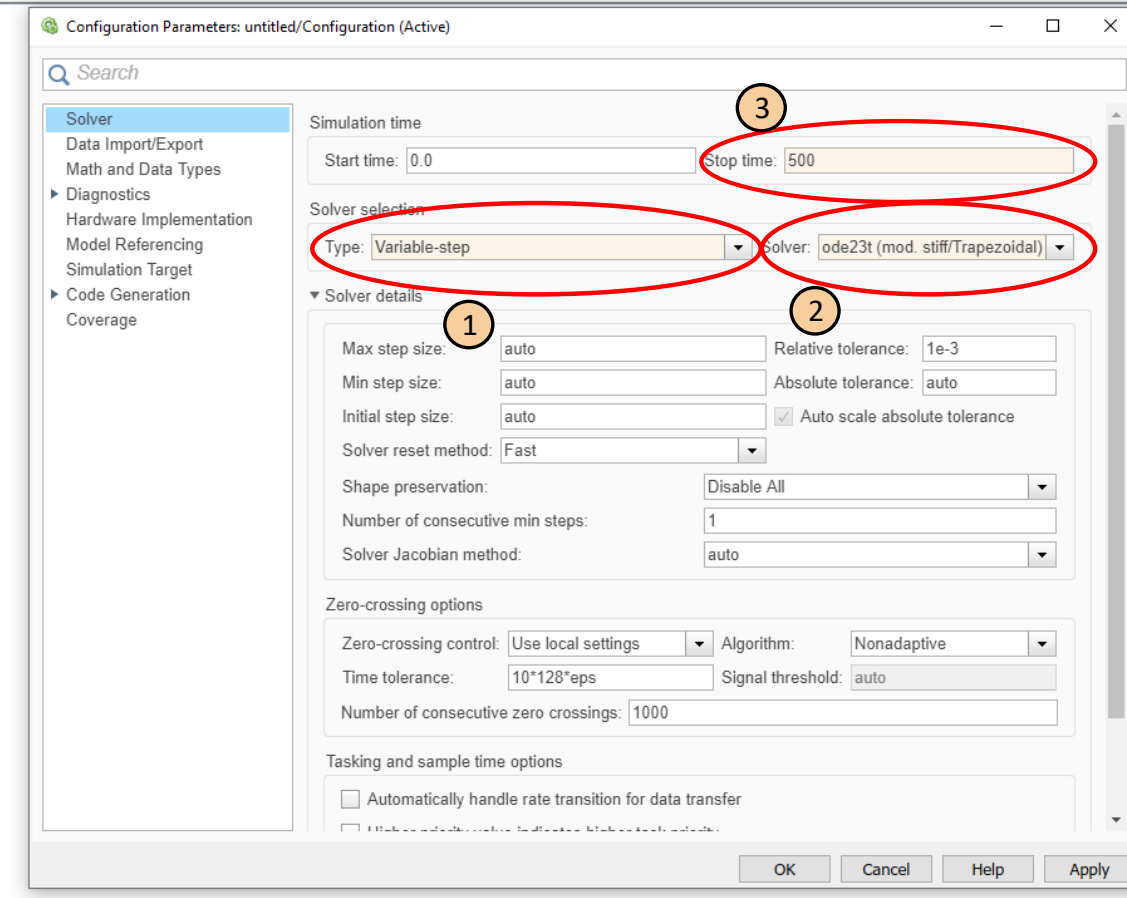
Modelo en blanco de simulink

- Para iniciar Simulink basta con hacer click en el símbolo Simulink dentro de la pestaña Home de Matlab o bien se puede escribir “simulink” en la ventana de comandos.
- Normalmente casi todo proyecto de simulink tiene un scrip de Matlab asociado donde se hace algún calculo preliminar o se introducen los principales datos y constantes del problema. Este scrip debe ejecutarse antes de usar simulink o el programa dará error al ejecutarse.
- El primer paso es configurar el solver de simulink para su uso correcto según la utilidad que le estemos dando.
- Para acceder a la pestaña de configuración primero se debe ir a la pestaña de “Modeling”[1] y luego dar click al símbolo del engranaje [2].

# Inicialización y configuración de Simulink

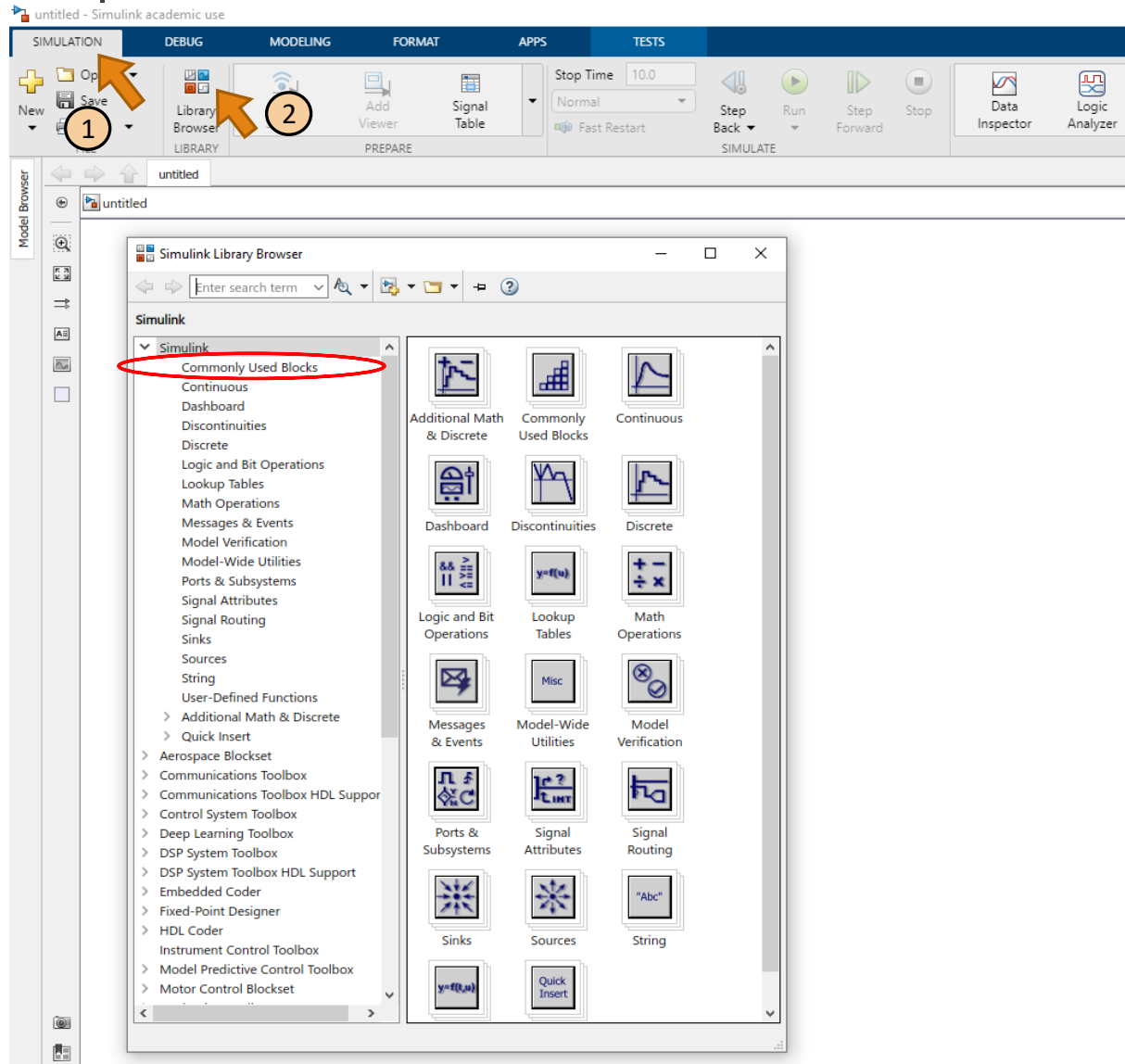
Principalmente existen dos tipos de “solver” el de paso fijo o el de paso variable [1]:

- El solver de paso fijo se caracteriza por resolver el problema a incrementos de tiempo que son fijos e impuesto por el usuario. Este es el tipo de solver que usaremos para simular un sistema.
- El solver de paso variable se caracteriza por resolver el problema con incrementos de tiempo que no son constantes. Este solver es especialmente útil para ajustes dinámicos ya que en etapas transitorias el paso fundamental es muy pequeño mientras que en etapas estacionarias el paso fundamental puede ser grande. Por lo tanto este es el solver que se usará para hacer ajuste de parámetros.
- La selección del esquema numérico [2] depende de varios factores y de la precisión que se quiera obtener, por lo general basta con dejarlo en automático en cada uno de los casos. Un compromiso entre rapidez y precisión es el ode23t para variable y el ode4 para paso fijo.
- La selección del tiempo de simulación [3] también se puede hacer aquí o en la pestaña “simulation”. En la mayoría de las veces Simulink es capaz de configurar por si solo el tiempo de simulación si existe un vector de tiempo, pero a veces esto no se cumple y se debe introducir a mano.



Panel de configuración de Simulink.

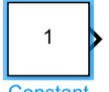
# Empezando a crear un modelo



Librería de bloques de Simulink.

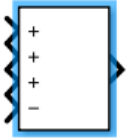
- La peculiaridad de simulink es que principalmente trabaja por bloques. Cada bloque realmente es una función matemática que tiene una serie de entradas y otra serie de salidas.
- Los bloques se conectan entre ellos mediante líneas o “cables”. Estas líneas pueden contener información de distintos tipos, ya que puede ser un número, un vector, una matriz, o un conjunto de datos estructurados.
- Todos los bloques de trabajo se pueden encontrar en la librería, para acceder a ella se debe ir a la pestaña de simulation [1] y luego dar click al icono de librería [2].
- La librería esta organizada por toolboxes la primera de toda son los bloques nativos de Simulink. Cada toolbox luego esta organizada por funcionalidad.
- Principalmente usaremos los bloques de uso común (apartado resaltado).
- Casi todo bloque de simulink es configurable si se le hace doble click dando una gran versatilidad y uso a estos bloques.

# Bloques comunes: Operaciones básicas



Constant

**Constant:** Sirve para introducir un valor que sea constante. Este valor numérico se puede introducir directamente en el bloque o también se puede introducir el nombre de una variable del Workspace de Matlab.



Add

**Add:** Bloque que sirve para sumar diferentes señales. Se puede configurar para permitir varias entradas. Por ejemplo si se pone 3 en la configuración aparecerán 3 entradas con el signo suma. En cambio si se pone la secuencia +++- aparecerá 4 entradas cada una con el signo correspondiente (como en la imagen).



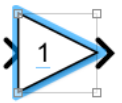
Sum of Elements

**Sum, Add, Sum of Elements:** Este bloque es un caso especial del bloque Add cuando en la configuración se introduce un único signo "+". Este bloque suma las componentes de los vectores o de la matriz y se puede configurar sobre la dimensión en la que se quieren sumar los elementos.



Product

**Product:** Bloque que multiplica dos señales. Se puede configurar de forma similar al bloque Add, incluso añadiendo la posibilidad de poder dividir el valor de dos señales



Gain

**Gain:** Bloque que multiplica a la señal por un valor constante. El valor puede ser introducido de forma numérica o introducir el nombre de una variable. Es un bloque que es mas comodo que product para multiplicar por una constante.



Dot Product

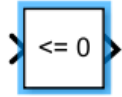
**Dot Product:** Permite hacer el producto escalar de dos vectores de igual dimensión.

# Bloques comunes: Operaciones comparativas



Relational  
Operator

**Relational Operator:** Compara dos entradas distintas si se cumple la condición indicada por la caja la salida es un 1, en cambio si no se cumple la salida es 0. La condición del bloque es editable.



Compare  
To Zero

**Compare to Zero/ Compare to constant:** Compara la entrada con el valor de referencia si se cumple la condición indicada por la caja la salida es un 1, en cambio si no se cumple la salida es 0.

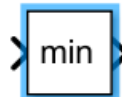


Compare  
To Constant



Logical  
Operator

**Logical operator:** Puede realizar las operaciones típicas de cualquier puerta lógica.



MinMax

**MinMax:** Encuentra el elemento máximo o mínimo de un vector. Si se especifica más entradas el bloque devuelve un vector con el mínimo o máximo que encuentra en cada entrada.

# Bloques comunes: Tratamiento de señales



Mux

**Mux:** Permite unir varias señales en un único tipo de señal con los datos del resto de señales. Esto permite crear vectores.



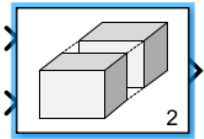
Demux

**Demux:** Permite separar una señal con varios números en distintas señales.



Vector  
Concatenate

**Vector Concatenate:** Permite hacer un vector columna a través de distintos vectores o números.



Matrix  
Concatenate

**Matrix Concatenate:** Permite ensamblar matrices a través de vectores o otros trozos de matriz.



Bus  
Creator



Bus  
Selector

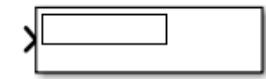
**Bus creator/ Bus selector:** La primera crea un bus de datos. A diferencia con Mux el bus de datos une las señales en un único tipo de señal, pero las señales se mantienen de forma independiente con su estructura y su formato. El bloque **Bus selector** es el que permite separar las señales y seleccionar la señal.



# Bloques comunes: Visualización de resultados

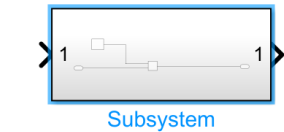


**Scope:** Crea una grafica de la variable de entrada en función del tiempo de simulación. El scope es configurable y permite introducir mas entradas y seleccionar el layout interno y disposición de esas gráficas.

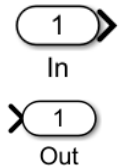


**Display:** Permite visualizar el valor numérico a cada instante de la señal de entrada, ya sea número, vector o matriz.

## Bloques comunes: Otro tipo de bloques



**Subsystem:** Permite hacer simplificaciones visuales del modelo englobando una serie de bloques en uno solo. Haciendo doble click en el subsistema se puede acceder a él y modificarlo.

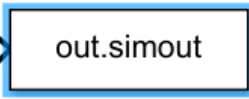


**In/out:** Son los bloques que sirven de enlace entre un subsistema y el resto del entorno. In es el de entrada, out es de salida.



**From Workspace:** Introduce dentro del modelo de simulink el valor de una variable declarada en Matlab. Una de sus características principales es que si la variable es un vector. El bloque puede usarse para introducir de uno en uno esos valores según avanza los pasos temporales.

# Bloques comunes: Otro tipo de bloques



To Workspace

**To Workspace:** Permite guardar la variable calculada en un el Workspace de Matlab



MATLAB Function

**MATLAB Function:** Permite introducir una función personalizada escrita en Matlab. Especialmente pensada cuando no se tiene un bloque que haga lo que desea.



Clock

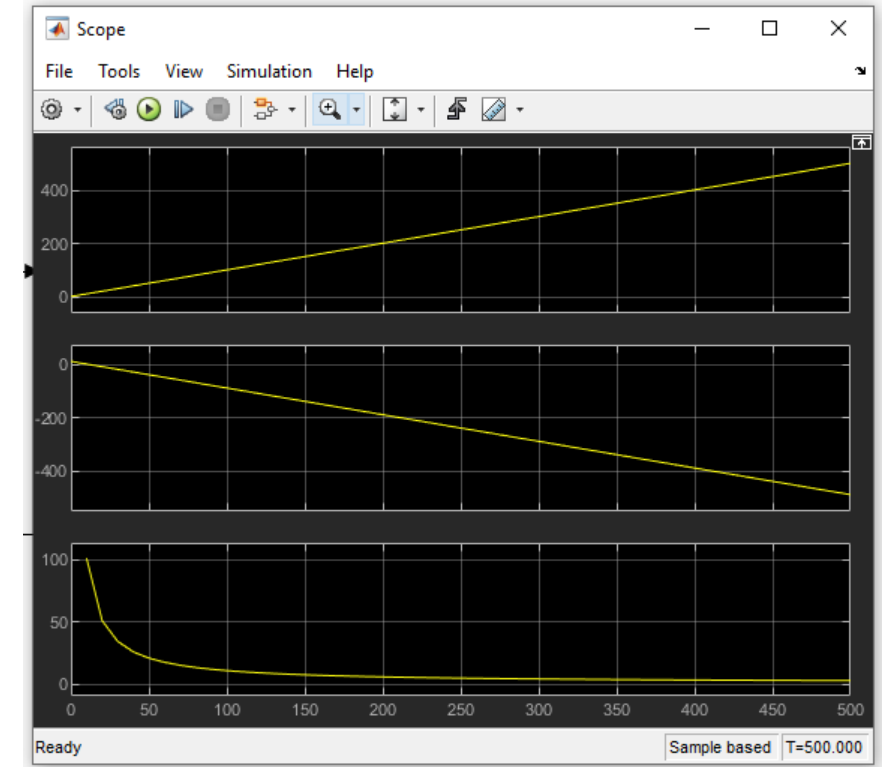
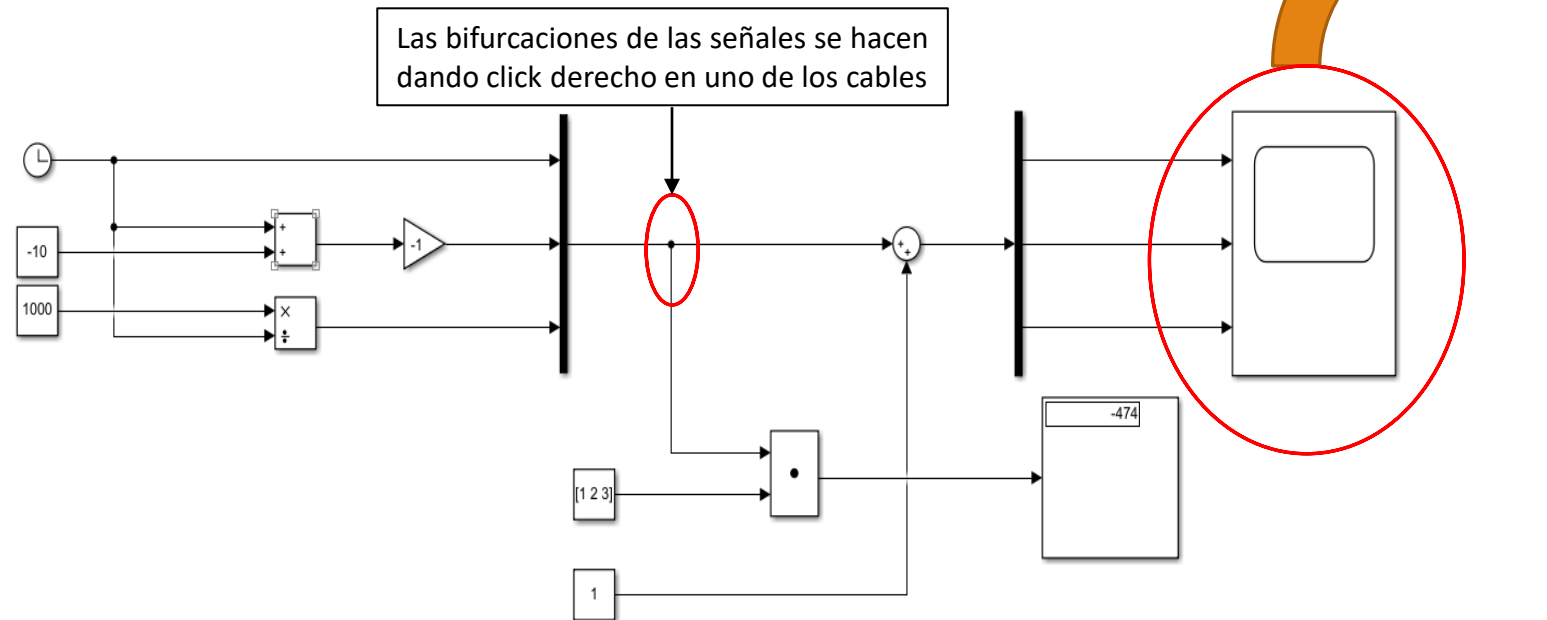
**Clock:** Introduce el valor numérico del tiempo de simulación como una señal dentro de simulink.

## Notas extras:

- Existe una cantidad abrumadora de bloques en simulink; los aquí expuestos son los más representativos y que más uso le vamos a dar en la asignatura.
- Si se tiene la mayor parte de toolbox instaladas la biblioteca de bloques de simulink es muy completa y llena de utilidades, prácticamente la mayoría de las funciones de Matlab tienen su equivalente en simulink.
- En general se recomienda hacer la mayor parte posible de las operaciones con los bloques de simulink y reservar para los casos indispensables el uso del bloque MATLAB Function , dado que asi es más fácil y seguro si se quiere exportar el código a C
- Un ejemplo de función que no se puede hacer directamente con los bloques de simulink es obtener los autovalores y autovectores de una matriz, por lo que se recomienda usar una MATLAB Function para este caso.

# Ejemplo de un sistema simple

En este ejemplo se muestra como el bloque **Mux** puede transformar tres números simples en un único vector al que se le aplican las típicas propiedades de los vectores. Luego Demux se utiliza para ver por separado el resultado de cada componente en las gráficas.



- El número de puertos de entrada del scope se cambia haciendo click derecho en el bloque>Signals & Ports
- El layout se cambia en el submenú de View

# SIMULACIÓN DE SISTEMAS FISICOS CON SIMSCAPE

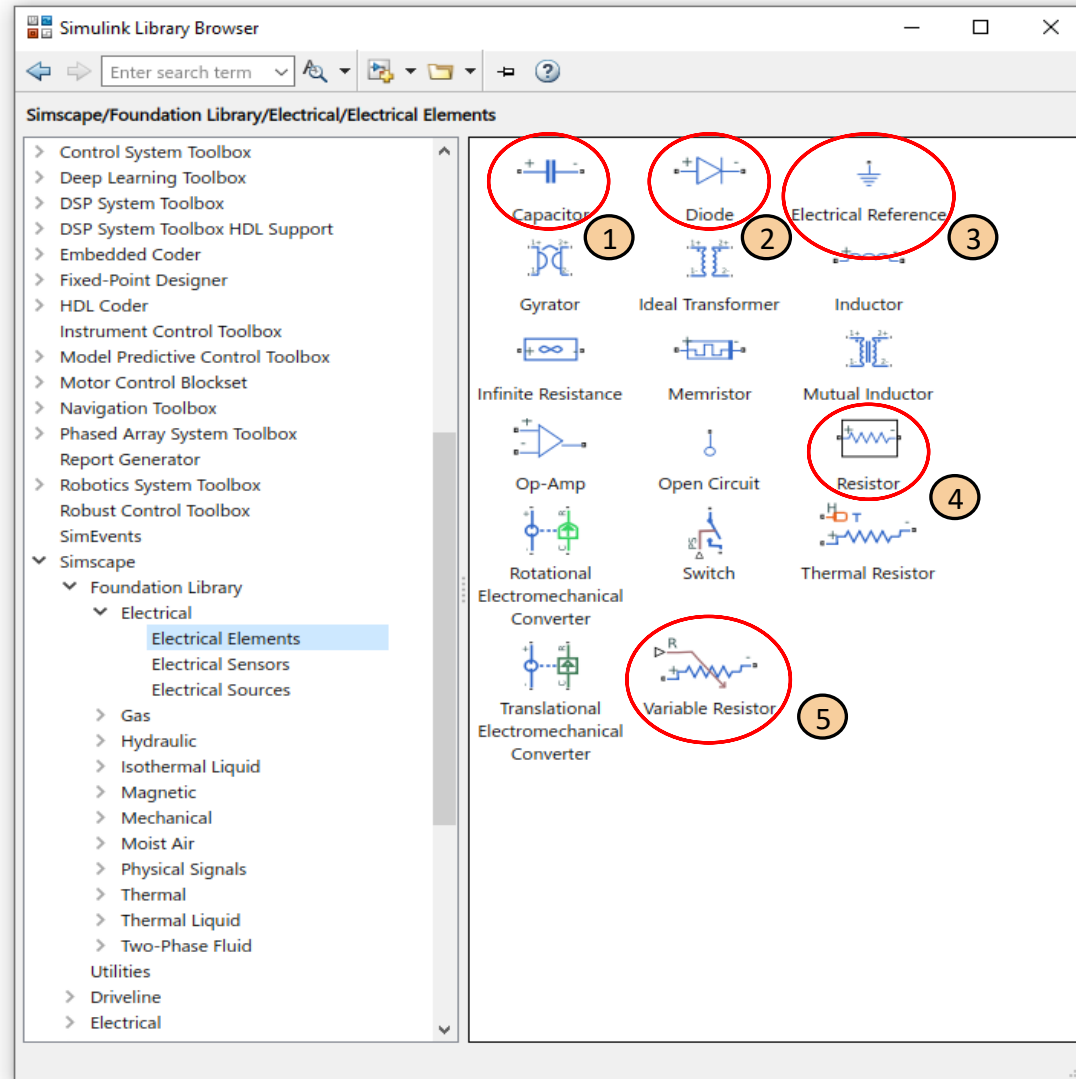
- Bloques básicos y peculiaridades
- Ejemplo de sistema fisico

# SIMULINK®

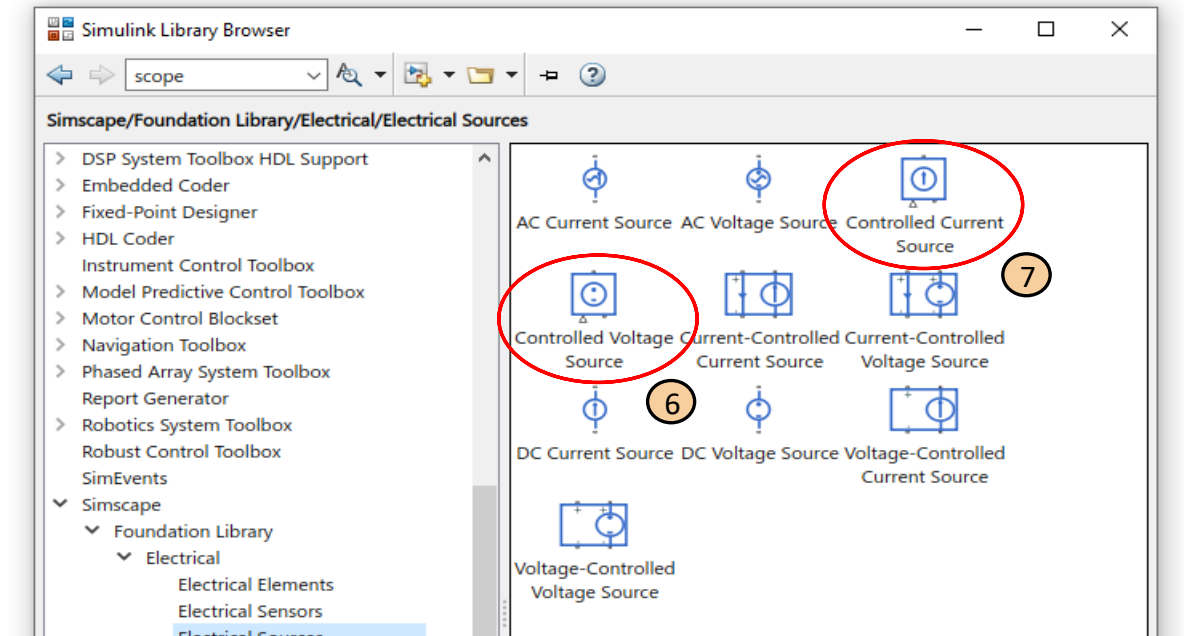
# Particularidades de Simscape

- Simscape permite crear rápidamente modelos de sistemas físicos dentro del entorno de Simulink. Con Simscape, se pueden crear modelos de componentes físicos basados en conexiones físicas que se integran directamente con diagramas de bloques y otros paradigmas de modelado. Es posible modelar sistemas como motores eléctricos, rectificadores de puente, actuadores hidráulicos y sistemas de refrigeración mediante el ensamblaje de los componentes fundamentales en un esquema.
- Debido a esta característica de simular conexiones físicas, las señales de Simscape no son iguales a las señales de Simulink y por lo tanto no pueden ser tratadas de las mismas formas ni se pueden usar el mismo tipo de bloques que se usan con modelos normales de Simulink.
- Los elementos de Simscape ya incorporan las funciones matemáticas que rigen el comportamiento del componente, pero Simscape te da la posibilidad de poder modificar esas funciones para simular usos más raros o específicos de ese tipo de elemento.
- Aquí se presenta la información indispensable para poder hacer los trabajos de la asignatura. Si se quiere más información sobre la toolbox de Simscape se recomienda visitar el siguiente link: <https://es.mathworks.com/help/physmod/simscape/>

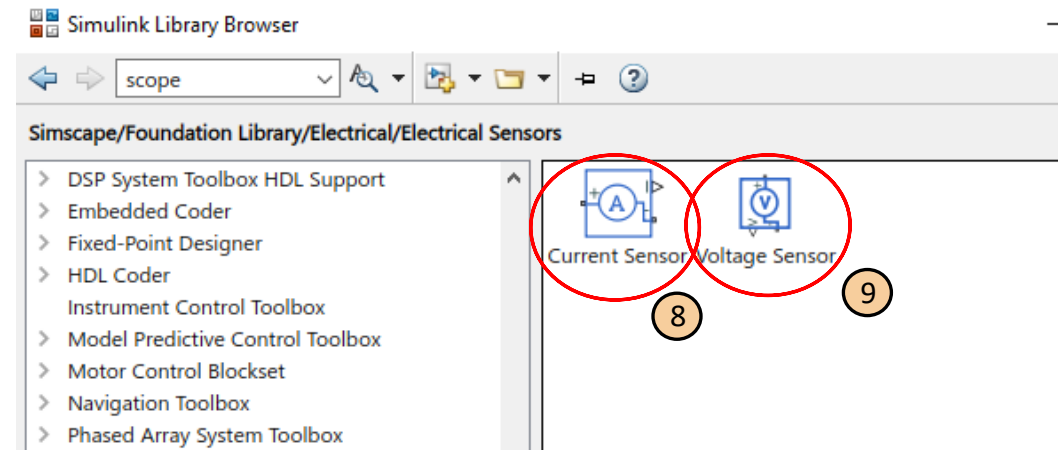
# SIMSCAPE: Principales elementos



Elementos eléctricos Simscape.

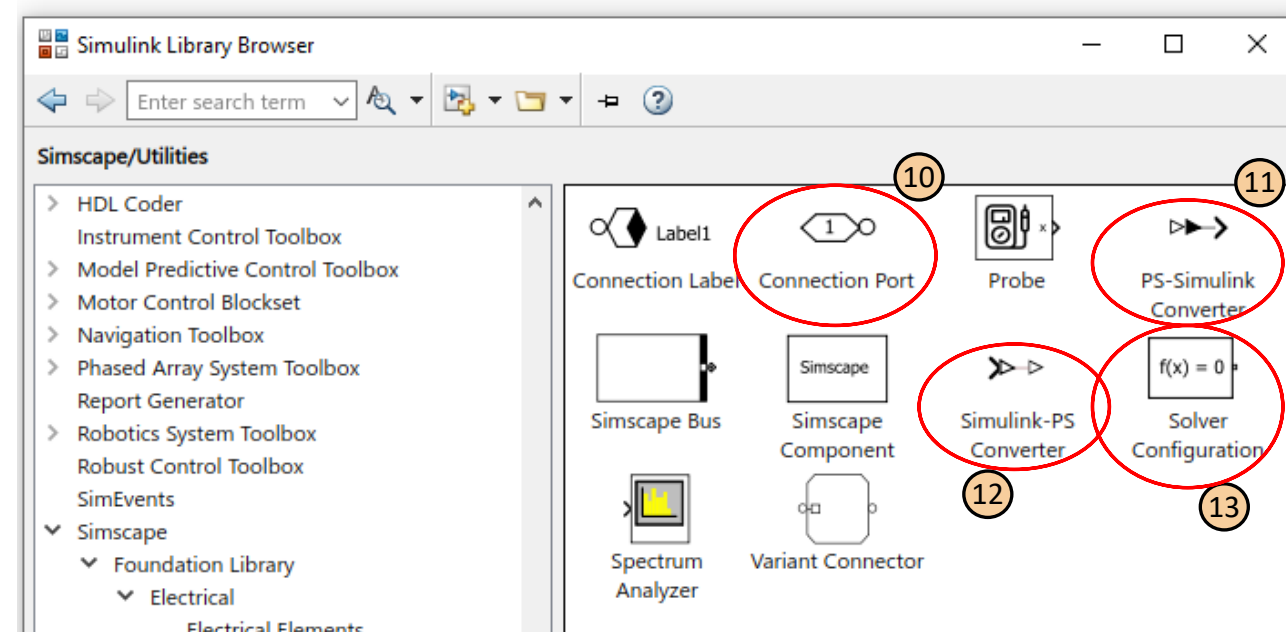


Fuentes eléctricas Simscape.



Sensores eléctricos Simscape.

# SIMSCAPE: Principales elementos



Principales elementos auxiliares Simscape.

En estas dos diapositivas se han señalado los principales elementos que se va a usar de la herramienta de Simscape-

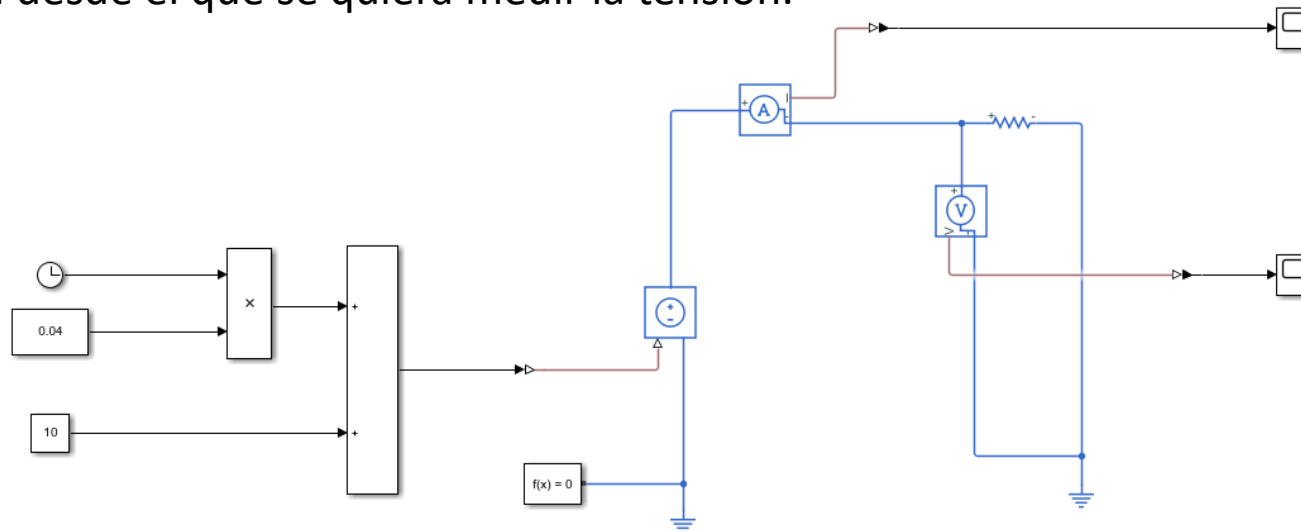
- Los elementos 1-5 representan los principales elementos eléctricos como la resistencia, el diodo o condensadores.
- Los elementos 6-7 son las principales fuentes de electricidad que se usaran en los modelos. En este caso se prefiere las reguladas frente a las constantes porque introduciremos el valor de la corriente y voltaje de salida desde los modelos.
- Los elementos 8-9 representan los principales sensores.

- Los elementos 10-13 son unos bloques que se encuentran en el apartado de “Utilities” a continuación se explican de forma detallada que hace cada uno:
- [10] **Connection Port**: Funciona igual que el bloque In o el bloque out pero solo función para señales de simscape.
- [11] **PS-Simulink Converter**: Transforma una señal de Simscape a señal de Simulink.
- [12] **Simulink-PS Converter**: Transforma una señal Simulink a señal Simscape.
- [13] **Solver Configuration**: Pieza fundamental de todo modelo Simscape ya que es la que resuelve el sistema.

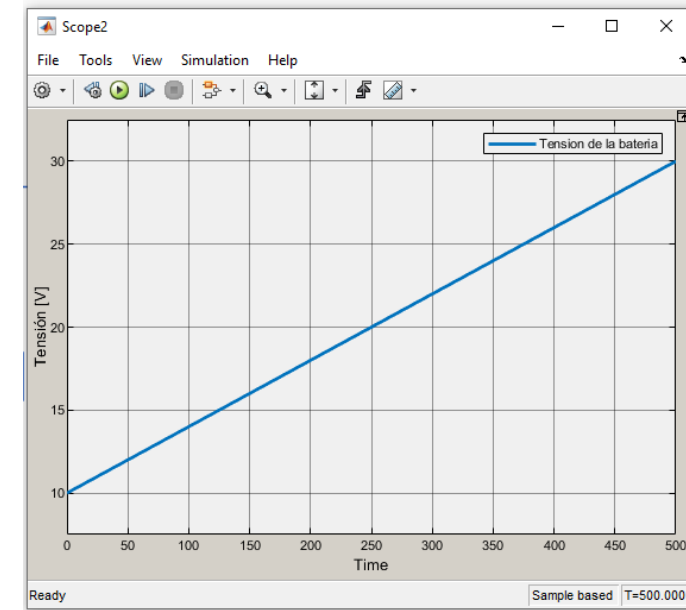
# SIMSCAPE: Ejemplo de simulación simple

El modelo de Simulink-Simscape que aparece representa un modelo físico donde una fuente de tensión regulable alimenta a una resistencia. Durante lo que dura la prueba se decide medir la intensidad y voltaje que esta proporcionando la fuente. Los siguientes comentarios se puede hacer sobre el modelo:

- Como se ve existen hasta 3 tipos de señales: Señales Simulink (pintadas en negro), señales físicas de Simscape (pintadas en azul) y señales de apoyo de Simscape (pintadas en Marrón). Estas señales nunca se pueden mezclar y solo se pueden transformar de unas a otros a través de bloques de apoyo.
- El bloque solver configuration debe aparecer. Da igual donde se ponga en el modelo pero siempre debe estar.
- El Amperímetro puede estar directamente conectado a un línea. El voltímetro siempre debe estar conectado a un punto de referencia desde el que se quiera medir la tensión.



Modelo eléctrico simple en Simscape.



Tensión de alimentación.



# AJUSTE DE PARAMETROS CON SIMULINK

- Modelo de la batería y construcción del modelo de ajuste
- Tutorial del modulo “parameter stimation”

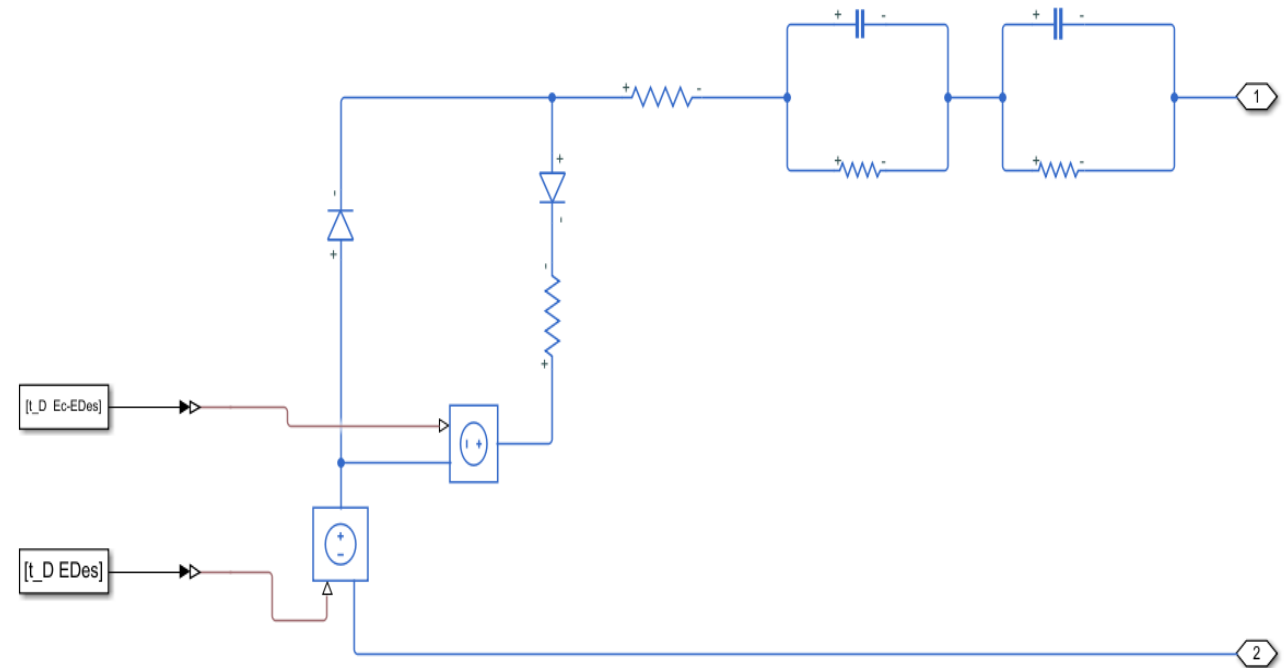
The Simulink logo is displayed in a large, blue, serif font. The word "SIMULINK" is followed by a registered trademark symbol (®).

# SIMULINK®

# Modelo de batería para el ajuste de parámetros

En esta parte del tutorial se va a aprender a realizar un ajuste de parámetros usando simulink. Antes de poder realizar cualquier ajuste se debe crear un modelo apropiado para el ajuste.

- El objetivo del modelo ajuste dinámico del modelo de baterías es estimar el valor de los condensadores y redistribuir el valor total de la resistencia interna entre todas las resistencias del modelo.
- Los datos del experimento son el tiempo, la intensidad de carga/descarga y el voltaje de la batería.
- Gracias a los modelos estáticos se puede conocer el voltaje interno de la batería. Para el modelo de ajuste esto es una entrada.
- Los datos se estructuran con la forma  $[t, E]$  para que a cada tiempo correspondiente se introduzca el valor de  $E$  que le corresponde.

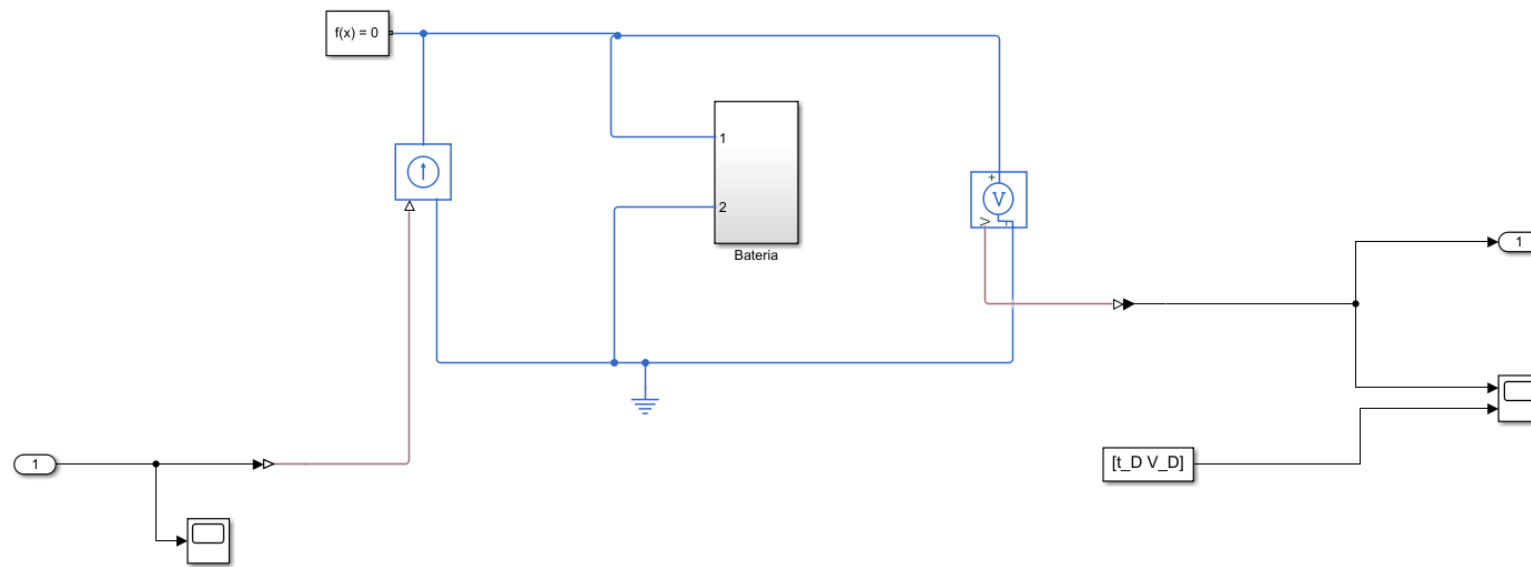


Esquema del modelo eléctrico de una batería.

# Modelo de batería para el ajuste de parámetros

Una vez creada el modelo eléctrico de la batería se debe crear un sistema que simule el experimento que del que se tomaron los datos.

- Al tratarse de una descarga dinámica el set-up externo se corresponde únicamente con una fuente de corriente a la que se le introduce los datos de intensidad del ensayo.
- Un aspecto importante del modelo es comprobar que las conexiones están bien realizadas y que el sentido de la corriente es el adecuado cuando esta se debería cargar o descargar.
- Se debe introducir un bloque de In y otro de out para que pueda funcionar el modulo de “parameter estimation”. En el bloque de In se introducirá la intensidad del ensayo y en el de out el voltaje que esta saliendo de la simulación de la batería.

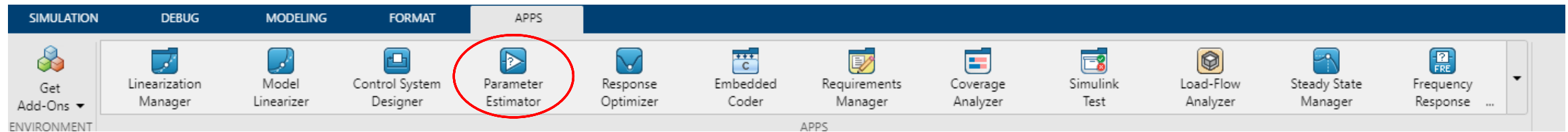


Esquema del ensayo de la batería.

# Estimación de Parámetros

En simulink hay una herramienta muy útil que sirve para poder estimar los parámetros de forma automática, dicha herramienta recibe el nombre de “Parameter estimation”. En simulink 2020 y versiones posteriores el acceso a la herramienta se puede encontrar en la pestaña de “Apps” y pulsando en el icono que tiene como nombre “parameter estimator”. Para versiones anteriores a la 2020 este modulo aparece en la pestaña de analisis>Parameter estimation.

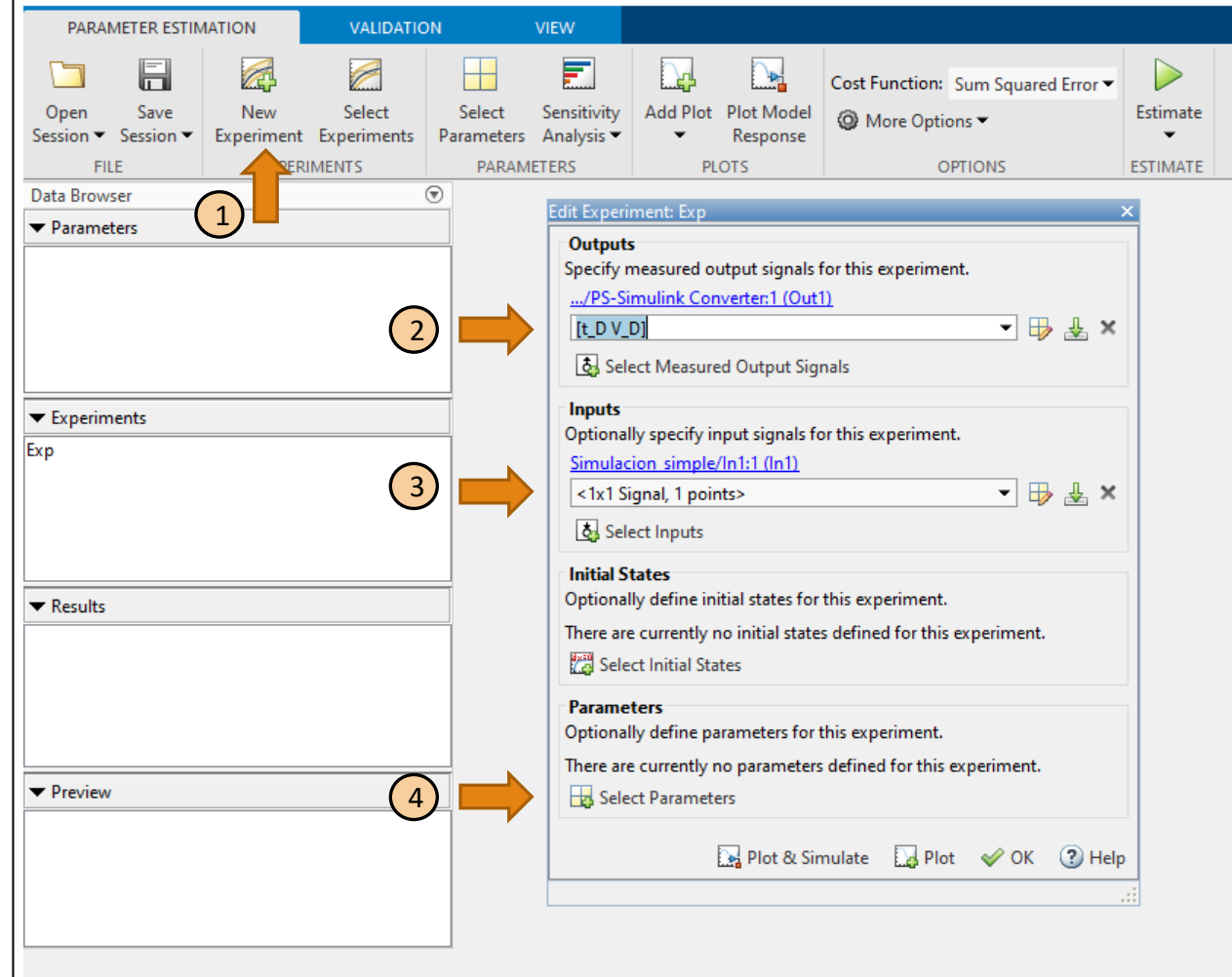
Esta herramienta es nativa en Simulink por lo que puede usarse para estimar cualquier tipo de sistema del que sea necesario indentificar sus parámetros. Es decir no esta ligada a ninguna toolbox en concreto.



Localización de la aplicación en versiones de Simulink 2020 en adelante.

# Estimación de Parámetros: Configuración.

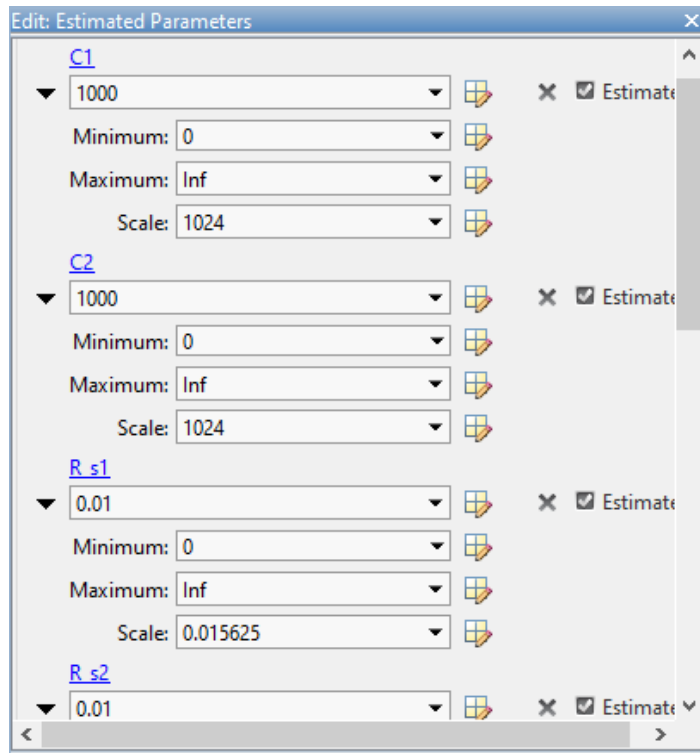
- El primer paso es diseñar el nuevo experimento de ajuste para eso se debe pinchar en “New Experiment” [1].
- Una vez dado aparecerá una ventana emergente donde se tendrá que ir rellenando la información relativa al experimento
- En primer lugar aparece el Output [2]. En azul saldrá la señal que automáticamente detecta como output. .../PS-Simulink Converter:1 (Out1) que se corresponde con la tensión de la simulación. En este apartado tenemos que introducir el valor de salida con el que se compara, es decir la tensión real con la estructura [vec\_tiempos, vector\_tension]. Es muy importante que estos vectores sean vectores columna.
- Luego aparece el apartado de Inputs [3]. En azul aparece cual es bloque desde el cual se va a introducir la entrada. En este caso se completará la información con la intensidad registrada en el ensayo. La estructura de datos debe ser igual que en el paso anterior.
- Por ultimo se debe seleccionar los parámetros a estimar y su rango de valores [4].



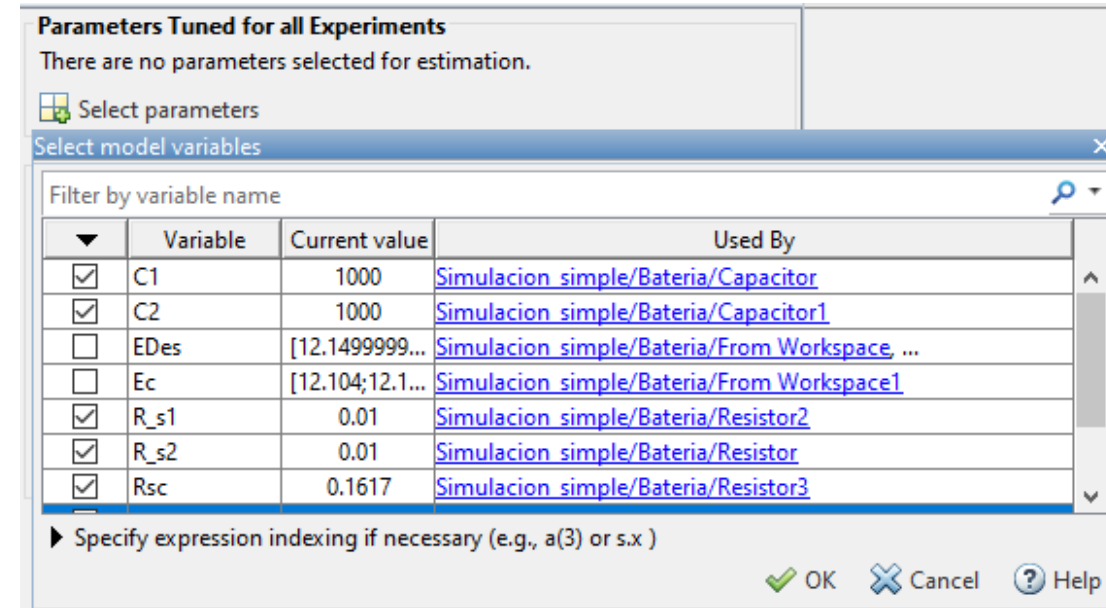
Menú de la herramienta parameter estimation.

# Estimación de Parámetros: Configuración.

- Se seleccionan los parámetros que se quieren ajustar, pero para que aparezcan este menú primero el modelo debe ser capaz de compilar y los parámetros deben estar inicializados en un scrip de Matlab.



Selección del rango de los parámetros

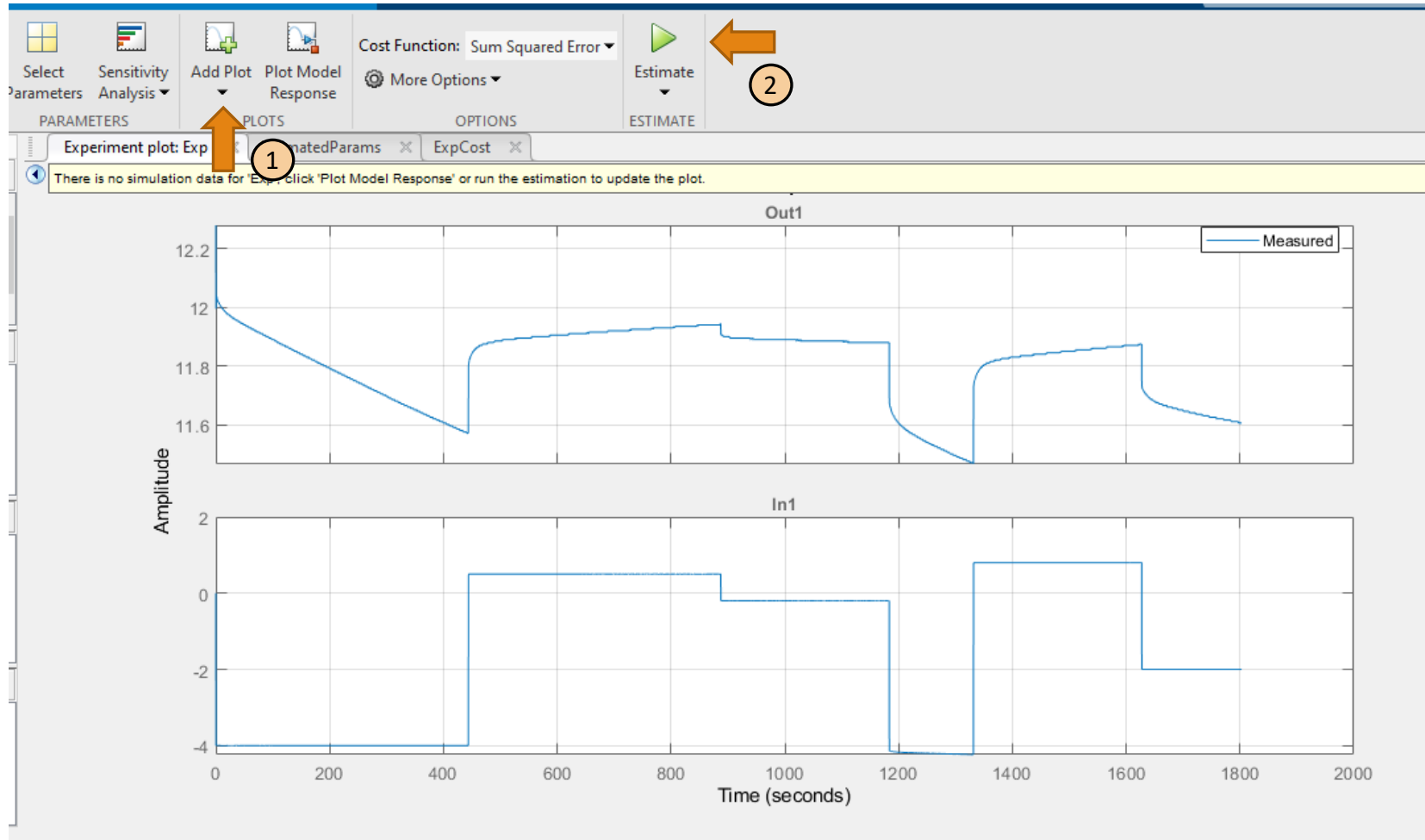


Selección de los parámetros

- Se da la opción de poner un limite inferior y superior a los parámetros. En un primer intento no se debe establecer ningún limite superior y 0 en el limite inferior. En sucesivas iteraciones se podrá poner un limite superior (especialmente en el caso de las resistencias para que) para evitar incumplir alguna de las condiciones del modelo.

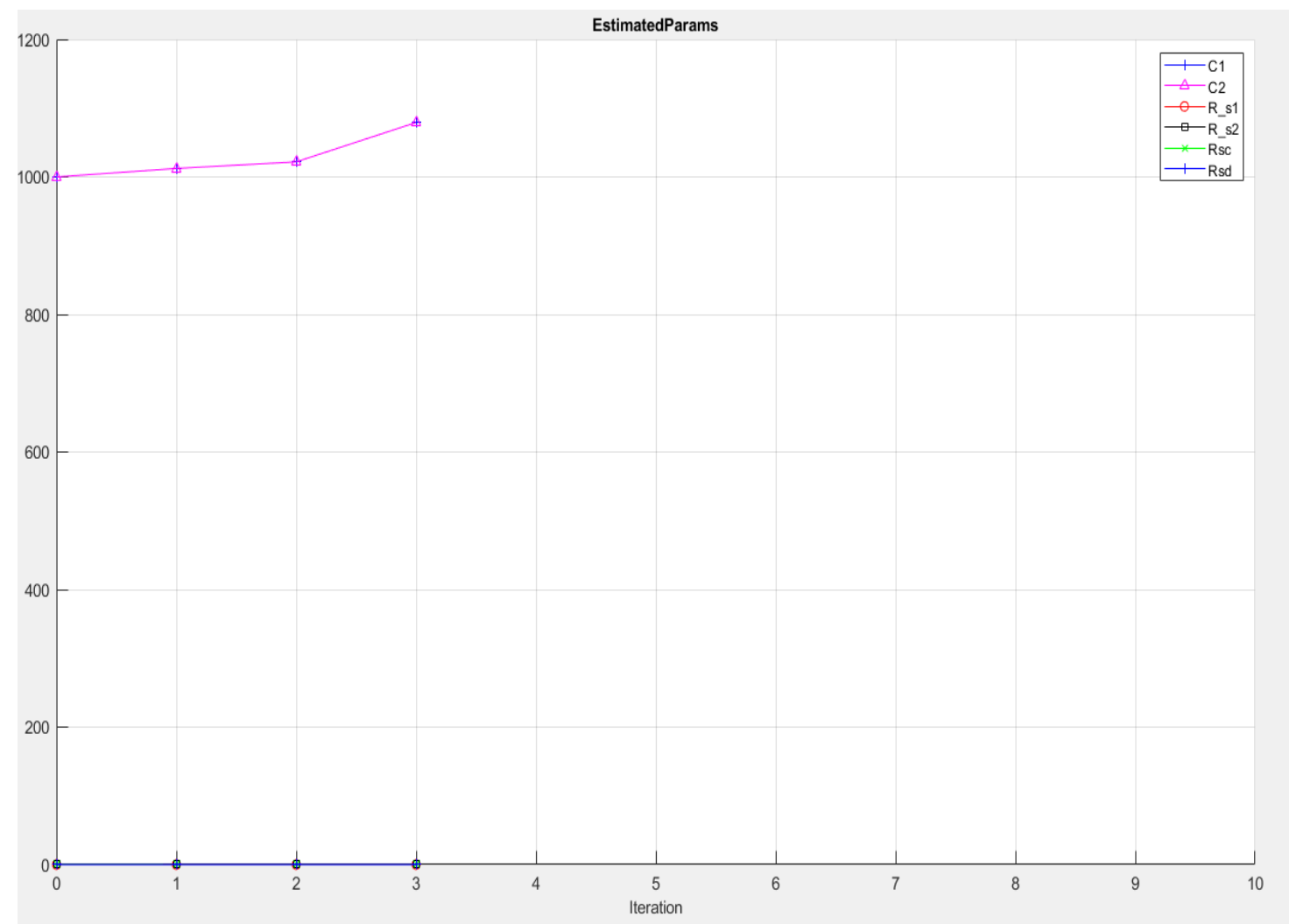
# Estimación de Parámetros: Configuración.

Por último antes de empezar el ajuste de parámetros seleccionamos aquellas graficas de las que queremos tener información[1]. Una vez, seleccionadas se puede empezar a estimar los parámetros dando al botón de Estimate[2].



Últimos pasos en la configuración del estimador del parámetros.

# Estimación de Parámetros: Resultados y validación.



Evolución en la estimación de los parámetros.

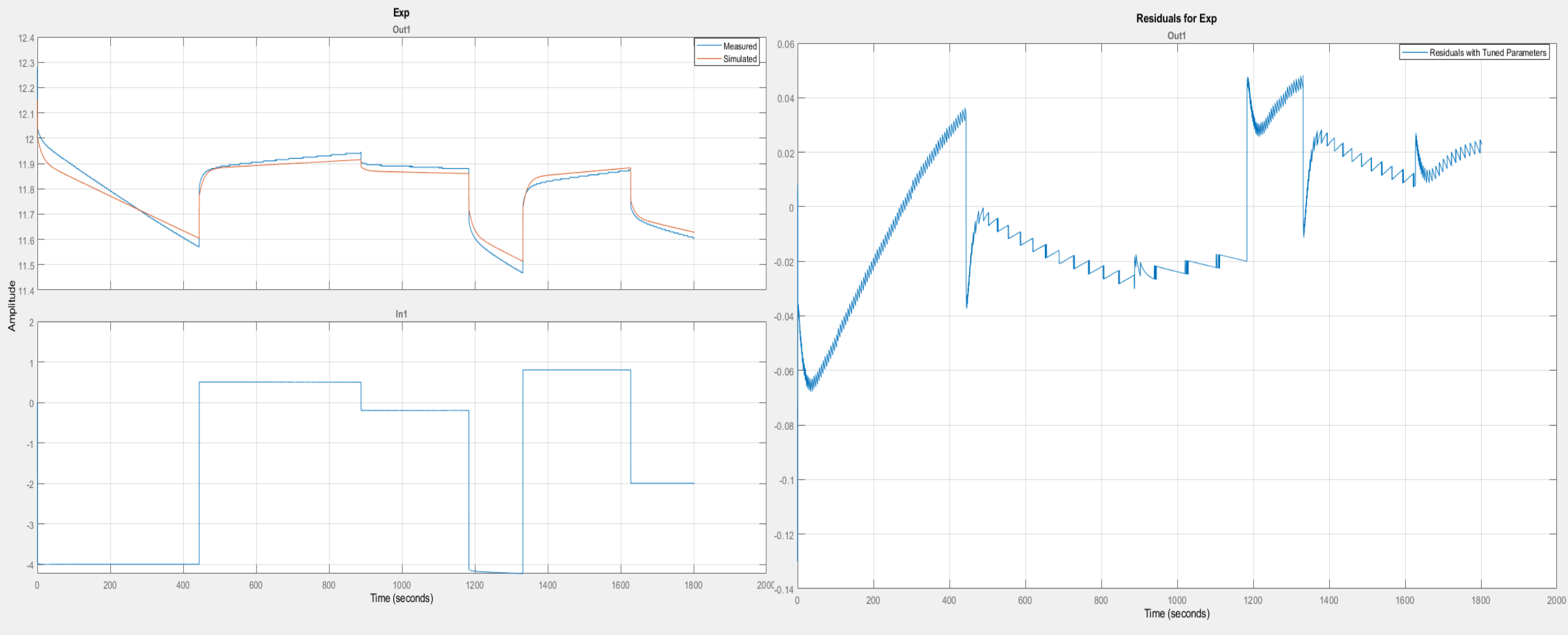
El programa ira estimando poco a poco los valores de los parámetros. En la grafica se muestra como van cambiando los parámetros a cada iteración que da el programa. Una vez que ha terminado de estimar los parámetros estos no serán los correctos. Aunque el programa haya conseguido encontrar un mínimo se le debe imponer una serie de restricciones que se deben cumplir. Por ejemplo, se debe cumplir que la suma de las resistencias parciales sea igual a la resistencia estática estimada para carga o descarga.

$$R_d = R_{sd} + R_{s1} + R_{s2}$$

Por lo tanto se debe volver a elegir los parámetros que se deben estimar e imponer una serie de valores máximos mínimos para poder cumplir esta condición hasta obtener un resultado donde se obtenga una buena estimación y se cumplan las restricciones.



# Estimación de Parámetros: Resultados.



Comparación de la simulación ajustada y los datos experimentales.

Error entre el modelo ajustado y el modelo real.

# SIMULACIÓN COMPLETA DE UN SUBSISTEMA DE POTENCIA

- Modelización de cargas eléctricas y convertidores CD/CD en simulink.
- Módulos de paneles y funciones Matlab en simulink.
- Módulo de batería, funciones recursivas y bloques de memoria.

# SIMULINK®

# Simulación completa de un subsistema de potencia.

En el último trabajo de esta asignatura os enfrentareis a realizar una simulación de un subsistema completo de potencia. Hay una serie de decisiones que se deben tomar, entre ellas es la decisión de hacer la simulación con Simulink o con Matlab. Cada opción tiene su serie de inconvenientes y ventajas. A continuación se detallan las más importantes.

## **Ventajas Matlab:**

- No necesitas aprender más simulink, puedes dejar este tutorial aquí y ahora.
- Es más fácil simular “circuitos inteligentes” (Carga máxima de batería, pasar a modo seguro).
- Es más fácil hacer que el modelo funcione.
- Solo debes implementar ecuaciones.

## **Desventajas Matlab:**

- Es menos visual y organizarse puede ser más lioso.
- No es capaz (por el momento ) de simular la respuesta transitoria de la batería y por lo tanto del resto de elementos.

## **Ventajas de Simulink:**

- Es muy visual, organizarse es fácil y es muy fácil simular fallos de distintos subsistemas con simulink.
- Permite obtener la respuesta transitoria.
- Hace los cálculos de intensidad voltaje de manera automática.
- Se pueden introducir ecuaciones de Matlab para los modelos más complejos.

## **Desventajas de Simulink:**

- Hacer que funcione puede ser complicado.
- Toca ser creativo para poder modelizar ciertas cosas.
- Posibles problemas con loops algebraicos.

Sigo trabajando en  
esto, lo siento 😞