



ELECTRÓNICA DE POTENCIA



LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA CON HARDWARE IN THE LOOP ASISTIDO POR MATLAB Y SIMULINK DL PEL-HIL 4.0



MATLAB y Simulink para el diseño de algoritmos de control basados en modelos, simulación y pruebas en tiempo real

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Electrónica de Potencia con soporte para Hardware-In-the-Loop proporciona una plataforma completa y flexible para el estudio, diseño, prueba y validación de estrategias de control avanzadas para convertidores de potencia y sistemas de accionamiento eléctrico. El laboratorio combina un entorno de hardware real con las capacidades de modelado y simulación de **MATLAB y Simulink**, lo que permite a los usuarios pasar de forma eficiente del análisis teórico a la implementación práctica.

El sistema está diseñado específicamente para facilitar la experimentación práctica en temas clave de electrónica de potencia, como convertidores CC-CC, inversores, accionamientos de motores CC, servomotores de imanes permanentes y accionamientos de motores asíncronos. Gracias a su arquitectura integrada de medición y control, los usuarios pueden adquirir variables eléctricas y mecánicas, analizar el comportamiento del sistema e implementar algoritmos de control sofisticados de forma estructurada y fiable.



ELECTRÓNICA DE POTENCIA



Mediante la integración de técnicas de **Hardware-In-the-Loop (HIL)** y **Prototipado Rápido de Control (RCP)**, el laboratorio permite realizar pruebas en tiempo real de modelos de control antes y durante la implementación del hardware. Este enfoque permite a los usuarios evaluar el rendimiento dinámico, ajustar los parámetros de control, verificar el funcionamiento del convertidor y validar las estrategias de accionamiento del motor en condiciones operativas realistas, reduciendo el tiempo de desarrollo y mejorando la fiabilidad del sistema.

La configuración modular del laboratorio lo hace idóneo para una amplia gama de actividades educativas, de investigación y de formación industrial. Se pueden configurar fácilmente diferentes configuraciones experimentales según la aplicación requerida, lo que permite a los usuarios investigar conceptos básicos y avanzados en electrónica de potencia, ingeniería de control y accionamientos eléctricos. Para reproducir diferentes condiciones de carga en máquinas de CC y CA, el sistema incluye un servomotor sin escobillas que opera en modos de control de velocidad y par. Esta configuración admite el funcionamiento bidireccional y permite realizar pruebas en cuatro cuadrantes, lo que hace que la plataforma sea especialmente eficaz para analizar el comportamiento del motor en condiciones de funcionamiento como motor y frenado regenerativo.

En general, el laboratorio ofrece un entorno integral para desarrollar habilidades prácticas en diseño basado en modelos, control en tiempo real, control de convertidores y aplicaciones de accionamiento de motores, al tiempo que apoya la validación de la investigación académica y los estudios de ingeniería avanzada.

MATLAB y Simulink

Nota: Las licencias no están incluidas con el entrenador y deben ser administradas de forma independiente por los usuarios.

OBJETIVOS DE LA FORMACIÓN

El sistema permite a los usuarios estudiar y desarrollar estrategias de control para convertidores de potencia y accionamientos eléctricos.

Ella (Ellos) podrán:

- Realizar pruebas de Hardware-In-the-Loop en tiempo real,
- Modelar el sistema completo en simulación fuera de línea,
- Estudiar las transformaciones de Park y Clarke en el diseño de control,
- Estudiar la modulación del vector espacial para optimizar el control de inversores basados en IGBT,
- Realizar un diseño basado en modelos para el control de choppers de CC, inversores, motores de CC, servomotores y motores asíncronos en configuraciones de circuito abierto, circuito cerrado único y circuito cerrado en cascada utilizando un sensor de velocidad,
- Convertir modelos de control en Simulink en código compilado discreto para ejecución en tiempo real en el sistema de control,
- Estudiar y desarrollar controladores automáticos de corriente y velocidad,
- Comparar los resultados de pruebas reales con simulaciones fuera de línea.



ELECTRÓNICA DE POTENCIA



TEMAS EXPERIMENTALES

Los usuarios pueden cubrir los siguientes temas:

- Chopper de CC,
- Inversor,
- Variadores de CC con control en cascada,
- Servovariadores de imán permanente de velocidad variable,
- Control orientado al campo de motores asíncronos.

COMPOSICIÓN DEL LABORATORIO

El laboratorio está compuesto por diferentes módulos, componentes y motores como en la siguiente lista:

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
DL RCPCORE	Módulo principal de prototipos de control rápido	1
DL 2106SPS-EXCT	Módulo de fuente de alimentación de CA y CC	1
DL 2106T06	Módulo convertidor de frecuencia	1
DL 2106LPF	Módulo de filtro de paso bajo	1
DL 2106T21-ADP	Módulo de protección de fusibles	1
DL 2106RLC	Módulo de carga RLC	1
DL 10400	Base para acoplamiento de máquinas	1
DL 10200A1	Motor de corriente continua con excitación en derivación	1
DL 10115A1	Motor de jaula de ardilla trifásico	1
MOTBRA1.3NM	Motor sin escobillas de 1.3Nm	1
DL 2108T26-LP	Módulo controlador de motor sin escobillas	1
DL 2108T26BR	Módulo de resistencia de frenado	1
DL 9026N	Módulo de adquisición de formas de onda trifásicas	1
DL 2600TTI	Transformador aislado	1
DL PCGRID	Computadora All-in-One	1
DL T12090_SK	Banco de trabajo 120x90	1
DL T06090	Banco de trabajo 60x90	1
DL A120-3M	Estructura con 3 niveles, versión básica.	1
DL SP-A120-LED	Base superior con tira de LED, para DL A120-3M	1
TLRCP	Kit de cables de conexión	1
DL 1196	Soporte para cables	1



AMBIENTE	DESCRIPCIÓN
MATLAB y Simulink	Este entorno permite a los usuarios realizar primero simulaciones offline del sistema completo. Posteriormente, pueden extraer el componente de control y ejecutar el código compilado en el DL RCPCORE para la validación del control en tiempo real y la evaluación del rendimiento.

MATLAB y Simulink

Nota: Las licencias no están incluidas con el entrenador y deben ser administradas de forma independiente por los usuarios.



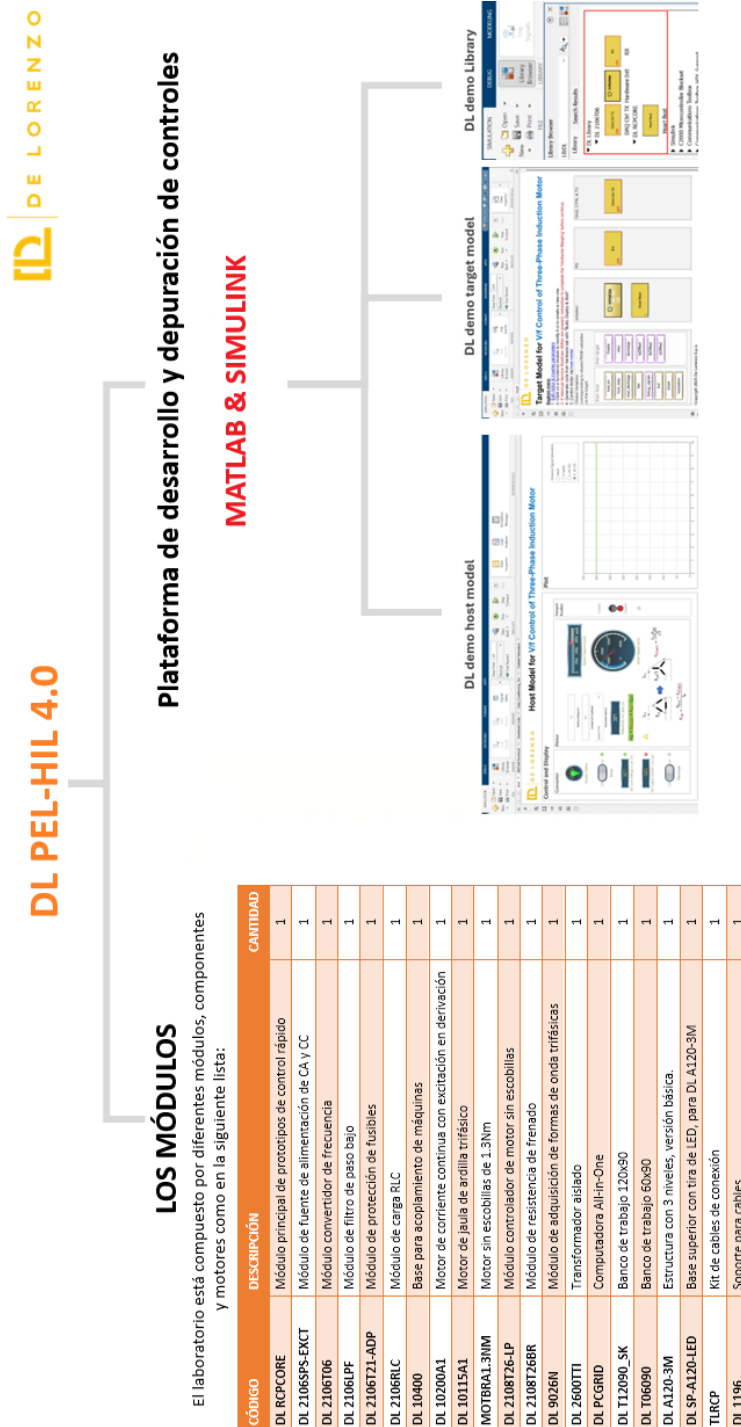
ELECTRÓNICA DE POTENCIA



MODELOS DEMOSTRACIÓN Y BIBLIOTECA

Aunque no proporcionamos directamente la plataforma de desarrollo (**MathWorks**), sí ofrecemos para cada experimento (ver imagen a continuación):

- un **modelo de demostración de destino** (algoritmo de control),
- un **modelo de demostración de host** (interfaz para depuración en tiempo real),
- y una **biblioteca** desarrollada por DL, para ser instalada en Simulink, diseñada para facilitar el desarrollo posterior por parte del usuario.





MÓDULOS DEL LABORATORIO

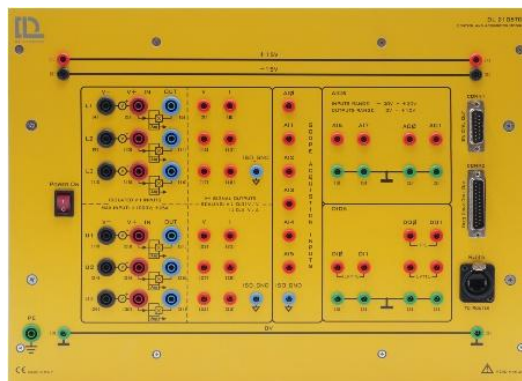
DL RCPCORE

Este es el núcleo de prototipado de control rápido, un controlador en tiempo real diseñado para ejecutar código generado a partir de **MATLAB y Simulink**. Conecta sin problemas a los usuarios de **Simulink** con implementaciones de hardware reales, minimizando el esfuerzo y eliminando la necesidad de habilidades de programación en C que normalmente se requieren para sistemas integrados.

Está equipado con seis canales para mediciones de alto voltaje y alta corriente, funcionando como seis voltímetros-ampérímetros.

Estos canales admiten mediciones de hasta ± 1000 V y ± 25 A, cuentan con bujes protectores y aislamiento galvánico incorporado para mayor seguridad y confiabilidad. Esto simplifica el control de circuito cerrado, lo que permite a los usuarios integrarlo sin problemas en sus algoritmos de control sin preocuparse por la falta de configuraciones de hardware para mediciones distribuidas.

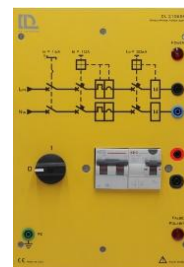
También cuenta con entradas y salidas digitales y analógicas, lo que permite a los usuarios personalizar la configuración del hardware para adaptarla a sus necesidades.



DL 2106SPS-EXCT

Se trata de una fuente de alimentación de CA monofásica para convertidores de potencia y accionamientos eléctricos, que incorpora un MCB (Disyuntor en miniatura) integrado y RCCB (Disyuntor de corriente residual) para protección local.

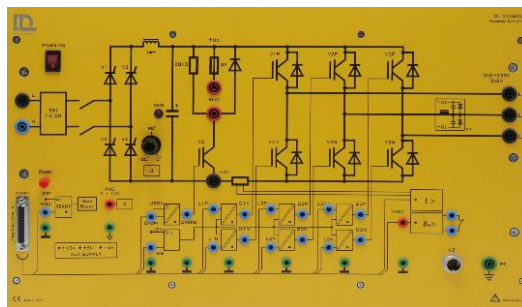
También proporciona voltaje de excitación al motor de derivación de CC **DL 10200A1**.



DL 2106T06

Intrínsecamente, se trata de un convertidor de frecuencia compuesto por un rectificador controlado monofásico, un enlace de CC con frenado regenerativo y un inversor trifásico. Gracias al accionamiento independiente de los IGBT del inversor, también se puede configurar para crear varios convertidores, como choppers CC e inversores monofásicos.

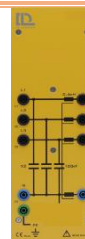
Será controlado por el **DL RCPCORE**, actuando como actuador para el algoritmo de control para suministrar una carga pasiva **DL 2106RLC** o cargas de motor como el motor shunt de CC **DL 10200A1**, motor asíncrono trifásico **DL 10115A1**, y motor de imanes permanentes **MOTBRA1.3NM**.





DL 2106LPF

Este filtro de paso bajo se aplica a la salida del **DL 2106T06** para filtrar voltaje y corriente de salida CA o CC.



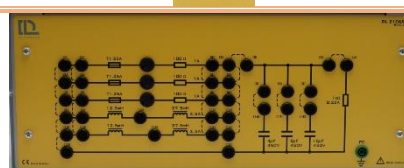
DL 2106T21-ADP

Caja de fusibles para protección de hardware, adecuada a diversas necesidades con diferentes juegos de fusibles para diferentes corrientes de protección.



DL 2106RLC

Este módulo consta de un conjunto de resistencias, inductores y condensadores, que pueden utilizarse como cargas pasivas o filtros de potencia.



DL 10400

Esta es una base metálica diseñada para montar motores DL. Incluye un transductor óptico para detectar la velocidad de rotación y cuenta con pies de goma antivibraciones, lo que lo hace adecuado para casos en los que se acoplan dos máquinas.



DL 10200A1

Se trata de un motor de corriente continua con excitación en derivación, con excitación abierta y devanados de armadura, con protección térmica.

Características técnicas:

- Potencia: 200 W,
- Voltaje: 220 V,
- Corriente: 1.2 A,
- Excitación: 150 V/0.06 A,
- Velocidad: 3000 rpm.



DL 10115A1

Se trata de un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla, con devanados de inducido aptos para conexión en triángulo o estrella, con protección térmica.

Características técnicas:

- Potencia: 370 W,
- Voltaje: 230/400 V - Δ/Y ,
- Corriente: 1.9/1.1 A - Δ/Y ,
- Frecuencia: 50 Hz,
- $\cos\phi$: 0.7,
- Velocidad: 2870 rpm.





ELECTRÓNICA DE POTENCIA



MOTBRA1.3NM

Este es un motor servo sin escobillas de imán permanente con un codificador incorporado, que se utiliza con el controlador **DL 2108T26-LP** o con el convertidor de frecuencia **DL 2106T06**.

Características técnicas:

- Potencia nominal: 400 W,
- Par nominal: 1.3 Nm,
- Velocidad nominal: 3000 rpm.

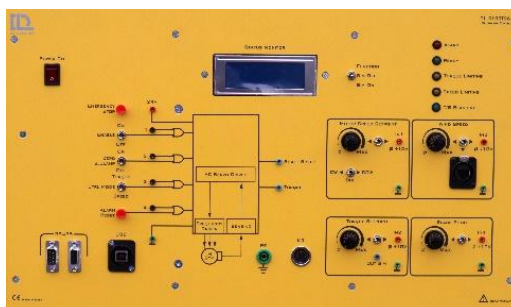


DL 2108T26-LP

Este es el módulo controlador a nivel de aplicación para el motor sin escobillas **MOTBRA1.3NM**, permitiendo el funcionamiento de un servomotor en una aplicación de generador o en el frenado del motor.

Características técnicas:

- Consigna de velocidad del motor,
- Consigna de par con Led de limitación de par,
- Salida analógica de par: 0...10V,
- Led de alcance de T/S (Par/Velocidad),
- Potencia nominal: 300 W,
- Velocidad nominal: 3000 rpm,
- Puertos: 1 USB y 2 RS485,
- Conector de 5 pines: para lectura de velocidad.



DL 2108T26BR

Esta es la resistencia de freno externa para el **DL 2108T26-LP**, utilizado durante la regeneración para proteger su enlace de CC interno.



DL 9026N

Módulo avanzado utilizado en laboratorios de sistemas trifásicos para visualizar y medir formas de onda.

Características técnicas:

- Monofásica de CA seleccionable para medir V, I, P, Q y S,
- Una placa de adquisición de datos incorporada, con una interfaz USB de alta velocidad, para observar las formas de onda de voltaje y corriente de las tres fases simultáneamente con entrada aislada y con puerto de comunicación RS485,
- Completo con SW de adquisición de datos desarrollado en LabView para visualización de formas de onda. Muestra los parámetros eléctricos más importantes (RMS para voltaje y corriente para todas las fases, simple y total, P, Q, S y factor de potencia) y realiza la





ELECTRÓNICA DE POTENCIA



transformación FFT para mostrar el espectro de voltaje y corriente.

DL 2600TTI

Transformador de aislamiento para colocar entre la red trifásica y los laboratorios que proporcionan una tensión secundaria trifásica con neutro aislado adecuado para el funcionamiento de los módulos.

Características técnicas:

- Entrada de red trifásica con ajuste de +10%/-10%.
- Salida: 400V con ajuste de +5% / -5%.
 - ◆ 3 x tomas CEE trifásicas (3P+N+E)
 - ◆ 2 x tomas CEE monofásicas (2P+E)
 - ◆ 2 x tomas tipo F monofásicas
- Protección magnetotérmica diferencial 10 A, 30 mA.
- Disyuntor de protección del motor: 4 a 6.3 A.
- Botón de paro de emergencia tipo hongo.
- Potencia máxima de salida: 3 KVA.



DL PCGRID

PC todo en uno (All-in-One).

Características técnicas:

- Display: 21.5", Full HD,
- Resolución: 1920 x 1080 Pixel,
- Procesador: Intel® Core™ i3, 1,2 GHz ,
- RAM: 8 GB,
- SSD: 256 GB,
- Sistema operativo: Windows 11.



DL T12090 SK

Banco de trabajo con plataforma de melamina. En la plataforma hay dos orificios para permitir el montaje de un marco de tres niveles **DL A120-3M**.

Características técnicas:

- Dimensiones (AxLxA): 80x120x90 cm,
- Con ruedas bloqueables,
- Se suministra con 15 enchufes protegidos por un disyuntor magnetotérmico.



DL T06090

Banco multifuncional utilizado en laboratorios como soporte de módulos y máquinas eléctricas.

Características técnicas:

- Dimensiones (AxLxA): 80x60x90 cm,
- Con ruedas bloqueables.





ELECTRÓNICA DE POTENCIA



DL A120-3M

Marco de 3 niveles, versión básica, para el montaje de los módulos del laboratorio. Para fijar en el banco de trabajo **DL T12090_SK**.



DL SP-A120-LED

Base con tira LED, para fijar en la parte superior del marco **DL A120-3M**.



TLRCP

Conjunto de cables de cableado de diferentes diámetros y longitudes.



DL 1196

Una estructura robusta utilizada para almacenar y organizar los distintos cables de conexión en el laboratorio, con ruedas.

