
Manual de operador del banco de ensayos de motores eléctricos

Juan Hirschmann (jhirschmann@fi.uba.ar)
Departamento de Energía FIUBA

Resumen

El presente manual de operador pretende ser una guía para la utilización del banco de ensayos de motores eléctricos. Además de guiar al operador para la realización de un ensayo, se describe el funcionamiento del banco de ensayos, sus operaciones de mantenimiento y la posibilidad de añadir nuevas funcionalidades.

Este manual proporciona una guía para llevar a cabo distintos tipos de ensayos en el banco de prueba, junto con instrucciones paso a paso para llevar a cabo tareas de mantenimiento y resolución de posibles problemas.

Para información sobre el diseño del banco de ensayos y su funcionamiento, referirse a la tesis de ingeniería electrónica adjunta como documento complementario.

Índice

1. Registro de cambios	3
2. Información de seguridad	4
3. Introducción	4
3.1. Componentes físicos del sistema	5
3.1.1. Interfaz física	5
3.1.2. Sistema de accionamientos	6
3.2. Causas de emergencia en el sistema	7
4. Descripción del sistema	8
4.1. Control de flujo de programa	9
4.2. Descripción del Hardware	11
4.2.1. Placa de E/S	11
5. Descripción de prestaciones	13
5.1. Ensayos autocontenidos	14
6. Instalación	14
6.1. Instalación eléctrica	14
6.2. Instalación de software de operación	14
6.2.1. Instalación de software - máquina virtual	14
6.2.2. Instalación de software - instalador	14
6.2.3. Configuración IP	16
7. Realización de un ensayo	16
7.1. Común a todo tipo de ensayo	17
7.1.1. Inicio e interrupción de ensayos	20
7.1.2. Acople mecánico - sentido de giro	20
7.2. Ensayo de torque-tiempo	21
7.3. Ensayo tipo torque-velocidad	24
7.4. Ensayo mixto	25
7.5. Ensayo autocontenido	25
8. Resolución de problemas	27
8.1. Indicadores LED de la unidad de control	27
8.2. Carga de software de sistema	30
8.3. Verificación de señales de LADDER	33
8.4. Cambio de dirección IP del control	34
8.5. Registro de modificaciones	34
9. Guía rápida para generar archivos de ensayo utilizando la planilla de cálculo de MS Excel	35
10. Plano eléctrico del sistema	38

1. Registro de cambios

Esta sección se reserva para futuras modificaciones en el presente manual.

Fecha	Versión	Descripción	Autor
11/01/2025	1.0	Creación del documento	J.Hirschmann

2. Información de seguridad

⚠ Durante la operación del banco de ensayos estará expuesto a movimiento rotacional de alto torque. Utilice calzado de seguridad y protectores oculares para operar el banco de ensayos. No utilice vestimenta holgada ni bolsos o mochilas en la cercanía del eje de simulación. Evite accidentes.

⚠ Previo a energizar el banco de ensayos, realice una inspección de la unidad de accionamientos. Corrobore el estado de los cables de alimentación y señal. Verifique que el eje de simulación se encuentra mecánicamente libre y cubierto por su jaula de seguridad.

⚠ No opere el banco de ensayos si observa que los cables del dispositivo se encuentran desconectados o con su vaina expuesta.

⚠ Evite entrar en contacto con el gabinete de accionamientos durante la realización de un ensayo o cuando este se encuentre energizado. Si es necesario realizar tareas de mantenimiento en la unidad, utilice el interruptor que se encuentra del lado derecho para interrumpir el suministro eléctrico.

⚠ Durante la operación del banco esté preparado para accionar el freno de emergencia ante cualquier situación imprevista. No abandone la estación de operador ni se aleje del la botonera de operación.

⚠ Tras calcular los parámetros de ensayo, realice ensayos de prueba: introduzca los parámetros reducidos a su décima parte para asegurar su comportamiento esperado. Monitoree los valores de velocidad y cupla alcanzados. Tras confirmar que el ensayo de prueba fue exitoso incremente los parámetros de ensayo hasta alcanzar su valor final.

3. Introducción

El banco de ensayos tiene como propósito la emulación de sistemas mecánicos reales. Existen tres tipos de ensayo posibles: aplicación de cupla en función del tiempo, aplicación de cupla en función de la velocidad o la superposición de ambos.

Estos ensayos pueden ser llevados a cabo en dos modalidades. La primera de ellas es ensayando un dispositivo externo, independiente del banco de ensayos. Mientras que la segunda, llamada autocontenido, permite la utilización del segundo motor del banco de ensayos como dispositivo bajo prueba.

Para poder realizar cualquier ensayo, el dispositivo a ensayar debe acoplarse mecánicamente a un eje que forma parte del motor simulador. Se deben configurar las consignas de cupla-velocidad o cupla-tiempo en función del sistema mecánico a ensayar, respetando los límites de simulación del banco de ensayos.

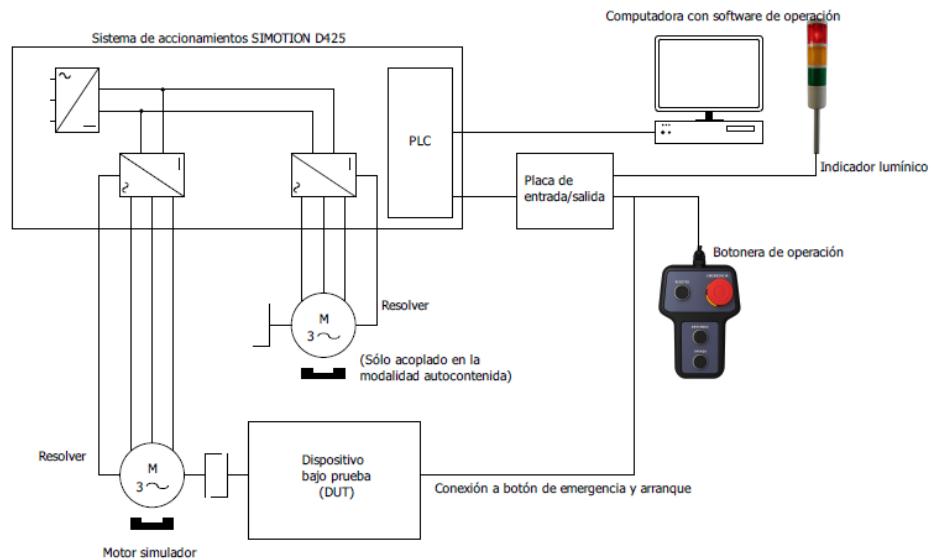


Figura 1: Diagrama en bloques de los componentes del banco de ensayos

El 'eje de simulación' ejecuta las consignas de cupla introducidas simulando diferentes condiciones de carga en el dispositivo bajo prueba. De ser necesaria, la programación del dispositivo bajo prueba debe ser realizada por el usuario en un sistema independiente, aplicando las condiciones de seguridad necesarias.

Al introducir una consigna de cupla resistiva, el banco de ensayos intentará alcanzar 2500 RPM en sentido horario, si la consigna es positiva, y en sentido antihorario, si la consigna es negativa. Si la cupla de tracción es inferior a la resistiva, entonces el eje de simulación domina el movimiento en el eje.

Al mantener esta situación, el eje de simulación mantendrá su consigna de cupla, acelerando hasta 2500 RPM. Una vez alcanzada esta velocidad, el eje de simulación aplicará una cupla inferior a la consigna con el fin de mantener su velocidad.

⚠️ El eje de simulación está preparado para ofrecer resistencia al movimiento del dispositivo bajo prueba. No intente usar el equipo con otros fines.

3.1. Componentes físicos del sistema

El banco de ensayos consiste en 2 componentes físicos: su interfaz física y el sistema de accionamientos SIMOTION D425.

3.1.1. Interfaz física

La interfaz física esta conformada por un panel de operador y un sistema lumínico:



(a) Botonera del equipo

(b) Semáforo de señales lumínicas

Figura 2: Elementos de la interfaz física del banco.

El panel de operador será utilizado para realizar intervenciones críticas durante el ensayo, como son: parada de emergencia, arranque, frenado y reconocimiento de emergencia.

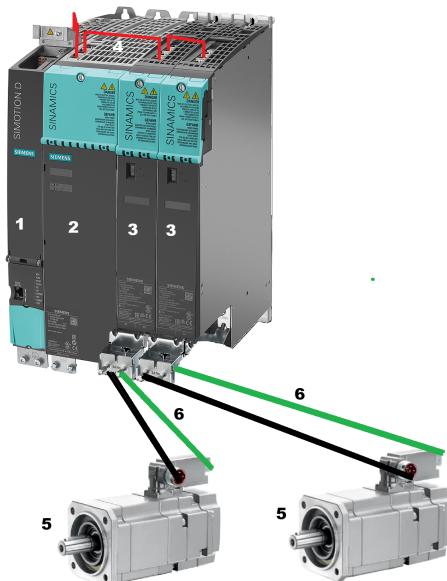
En cuanto al sistema de alertas lumínico, indica en qué momentos el eje del equipo está en movimiento o podría iniciar su movimiento al presionar el botón de arranque. La tabla 1 describe las señales:

Luz encendida	Característica	Indicación
Roja	Fija	El ensayo ha finalizado.
Roja	Parpadeante	El sistema está en estado de emergencia.
Amarilla	Fija	El ensayo está pausado.
Amarilla	Parpadeante	El ensayo se está ejecutando.
Verde	Fija	Inicio del programa, aún no se recibieron los parámetros de ensayo.
Verde	Parpadeante	El ensayo está listo para el arranque.

Cuadro 1: Descripción de las señales lumínicas

3.1.2. Sistema de accionamientos

El sistema de accionamientos consiste de 4 unidades:



Nº	Descripción
1	Unidad de control SIMOTRON D425
2	Módulo inteligente de línea SINAMICS S120
3	Módulos de control de servomotor SINAMICS S120
4	Interfaz Drive-CLiQ entre módulos
5	Servomotores línea 1FK7105
6	Interfaz Drive-CLiQ para servomotor

Figura 3: Componentes del sistema

3.2. Causas de emergencia en el sistema

El sistema puede entrar en estado de emergencia por las siguientes causas:

- **Accionamiento de botón de emergencia:** el usuario accionó el botón de emergencia en la botonera o en la interfaz gráfica.
- **Desconexión de la botonera:** la botonera no recibe tensión de la fuente externa.
- **Desconexión del control:** el sistema detectó que se perdió la conexión con el sistema de accionamientos.
- **Cupla excesiva:** el sistema detectó el valor de cupla a ejecutar es demasiado grande.
- **Derivada de torque excesiva:** el sistema detectó que la diferencia entre la consigna de cupla actual y la siguiente será demasiado grande.

Reconocimiento de emergencias Al producirse una emergencia, el sistema indicará la causa en la interfaz gráfica. Para poder liberar al sistema de la condición de alarma, es necesario pulsar el botón de reseteo en la botonera. Si la condición de emergencia desaparece, la señal lumínica pasará de rojo parpadeante a amarillo. El sistema reanudará su movimiento luego de presionar el botón de arranque.

⚠️ Previo a reanudar el ensayo verifique que el eje se encuentra liberado y que no haya objetos que podrían resultar atrapados en su proximidad.

- ⚠ **No desconecte ni cubra la señal lumínica.**
- ⚠ **Verifique la causa de la emergencia en la pantalla previo a liberar la emergencia.**

4. Descripción del sistema

A continuación se presenta un diagrama de bloques del sistema:

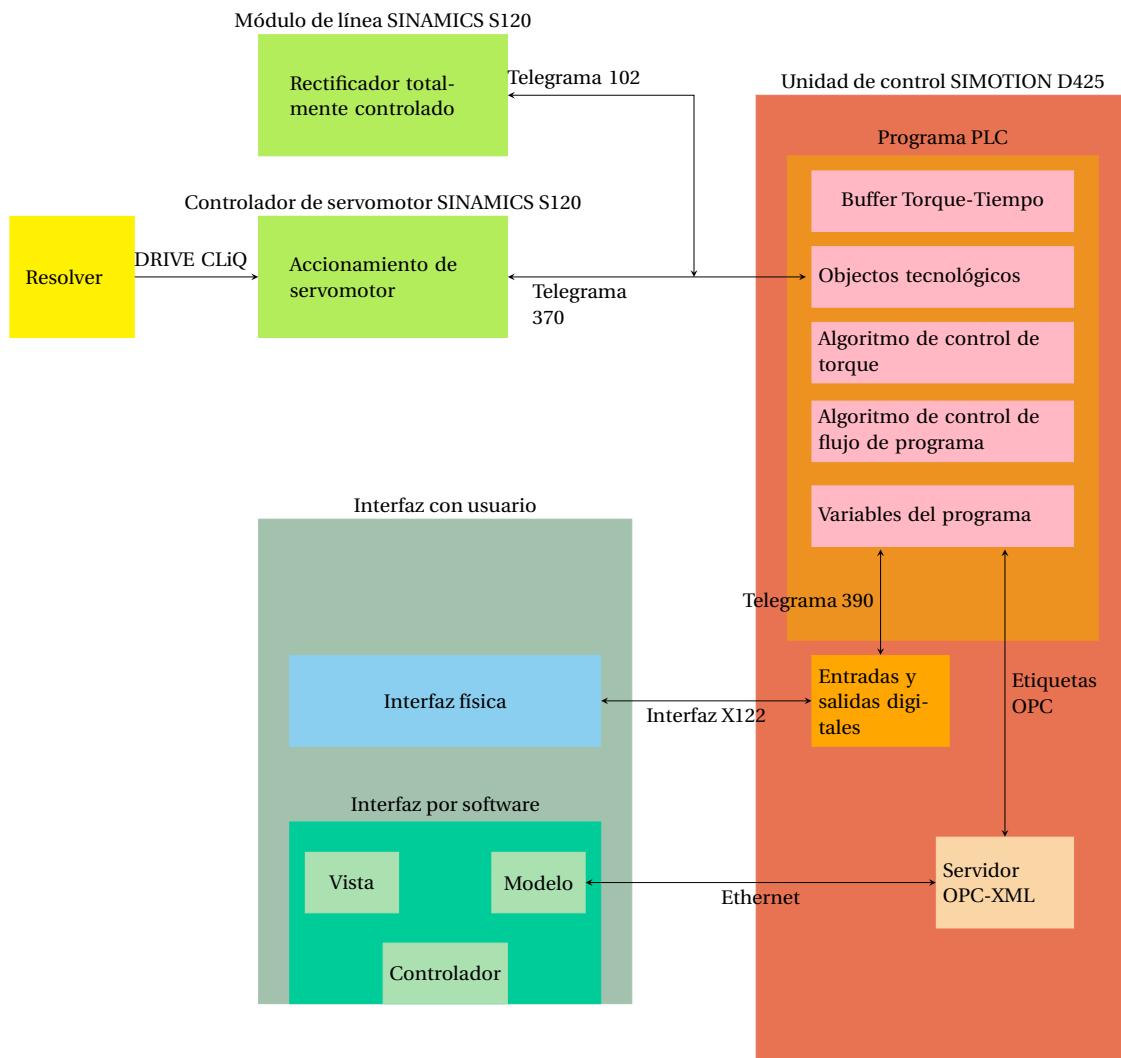


Figura 4: Diagrama en bloques del banco de ensayos

El sistema consiste en un programa que corre dentro del módulo SIMOTION D425, controlando el sistema de accionamientos utilizando objetos tecnológicos. Para interactuar con el programa PLC existen dos maneras posibles: mediante las variables IO, ligadas a puertos físicos en la interfaz X122, o bien a través de las etiquetas OPC.

Las etiquetas OPC son un conjunto de variables configuradas para ser cargadas al servidor OPC-XML. En el servidor OPC, las variables podrán ser consultadas o actualizadas por el cliente OPC-XML que conforma parte del Modelo. El modelo recibe instrucciones del Controlador de la interfaz que a su vez procesa los comandos de usuario informados por la Vista.

Para más información acerca de la implementación del banco de ensayos, referirse a la tesis de ingeniería electrónica que complementa este manual.

4.1. Control de flujo de programa

El diseño del sistema cuenta con 5 estados básicos. A continuación, una breve descripción de su comportamiento:

- No iniciado
 - Comportamiento: Es el estado inicial del sistema. Enciende la señal lumínica de verde. Gestiona la carga de parámetros de ensayo.
- Ensayo listo
 - Comportamiento: Enciende la señal lumínica en verde de a intervalos de un segundo.
- En ejecución
 - Comportamiento: enciende la señal lumínica en amarillo de a intervalos de un segundo parpadeante. Inicia o reanuda el movimiento del eje.
- Frenado
 - Comportamiento: enciende la señal lumínica de amarillo. Detiene el movimiento del eje.
- Emergencia
 - Comportamiento: enciende la señal lumínica de rojo parpadeante. Detiene el movimiento del eje.
- Finalizado
 - Comportamiento: enciende la señal lumínica de rojo. Detiene el movimiento del eje.

Estos estados solo admiten un conjunto de transiciones posibles. Este conjunto se detalla en su diagrama de transición de estados:

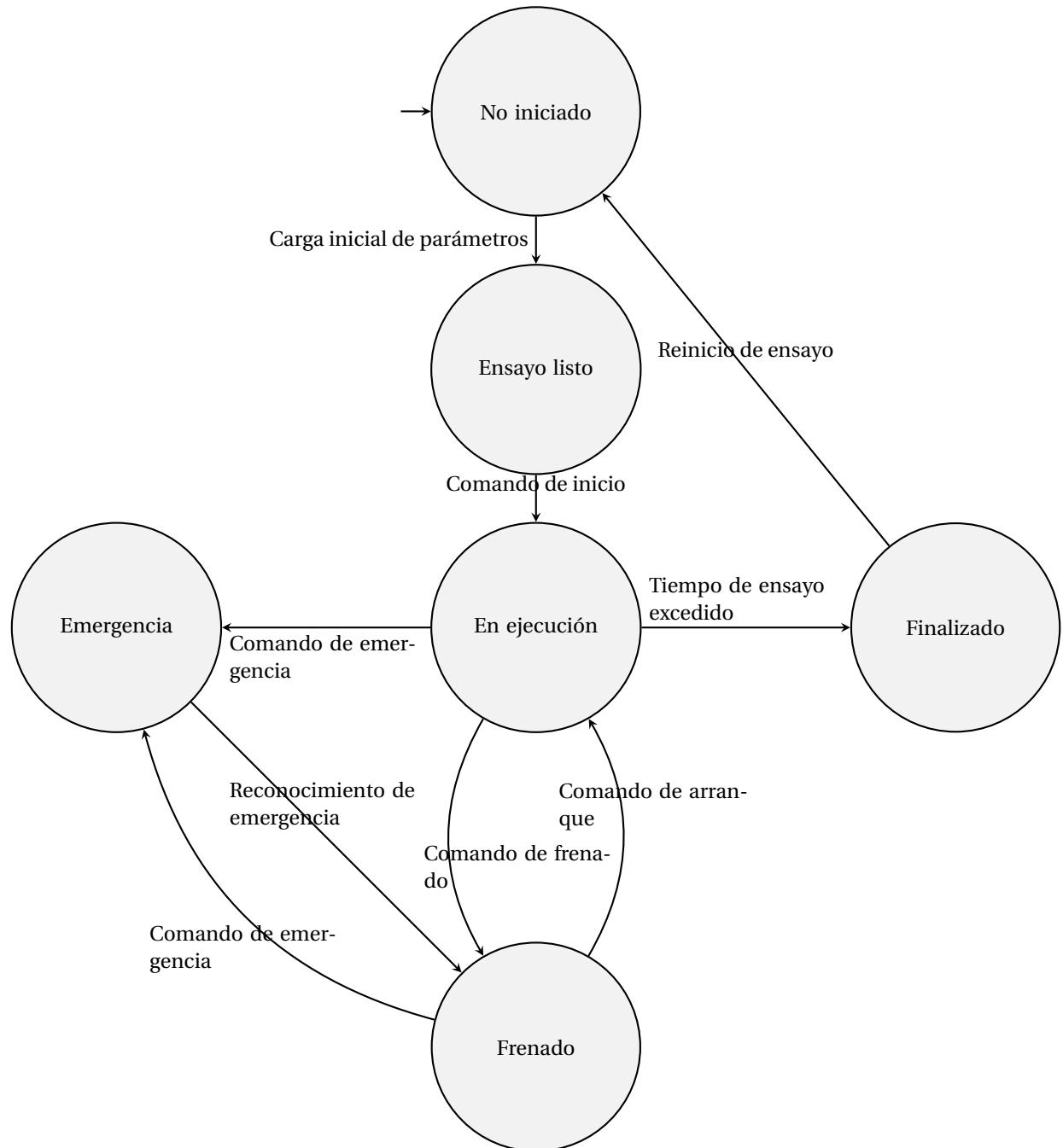


Figura 5: Diagrama de transiciones de estado en el programa de control de flujo

Los eventos de transición requieren de ciertas precondiciones para ser ejecutados. En la tabla 2 se des-

criben las precondiciones de ejecución:

Evento	Precondición
Carga inicial de parámetros	Tipo de ensayo especificado
	Parámetros de ensayo recibidos
	Duración de ensayo especificada
Comando de inicio	Modulo de línea activado
	Eje habilitado
	Botón de arranque pulsado
	Botón de arranque por software pulsado
	Ausencia de comando de emergencia
Comando de arranque	Botón de arranque pulsado
	Botón de arranque por software pulsado
	Ausencia de comando de emergencia
Comando de frenado	Botón de frenado pulsado
	Botón de frenado por software pulsado
Comando de emergencia	Botón de emergencia pulsado
	Botón de emergencia por software pulsado
	Temporizador de <i>keepalive</i> excedido
	Desconexión de interfaz física
	Error de hardware
Reconocimiento de emergencia	Botón de reseteo pulsado
Tiempo de ensayo excedido	Ausencia de comando de emergencia
	El tiempo transcurrido en estado RUNNING excede el tiempo de ensayo prefijado
Reinicio de ensayo	Apagado de la máquina

Cuadro 2: Tabla de eventos de transición en el programa de control de flujo

4.2. Descripción del Hardware

4.2.1. Placa de E/S

Además del sistema de accionamientos en la figura 3 el hardware del sistema cuenta con una placa de entradas y salidas.

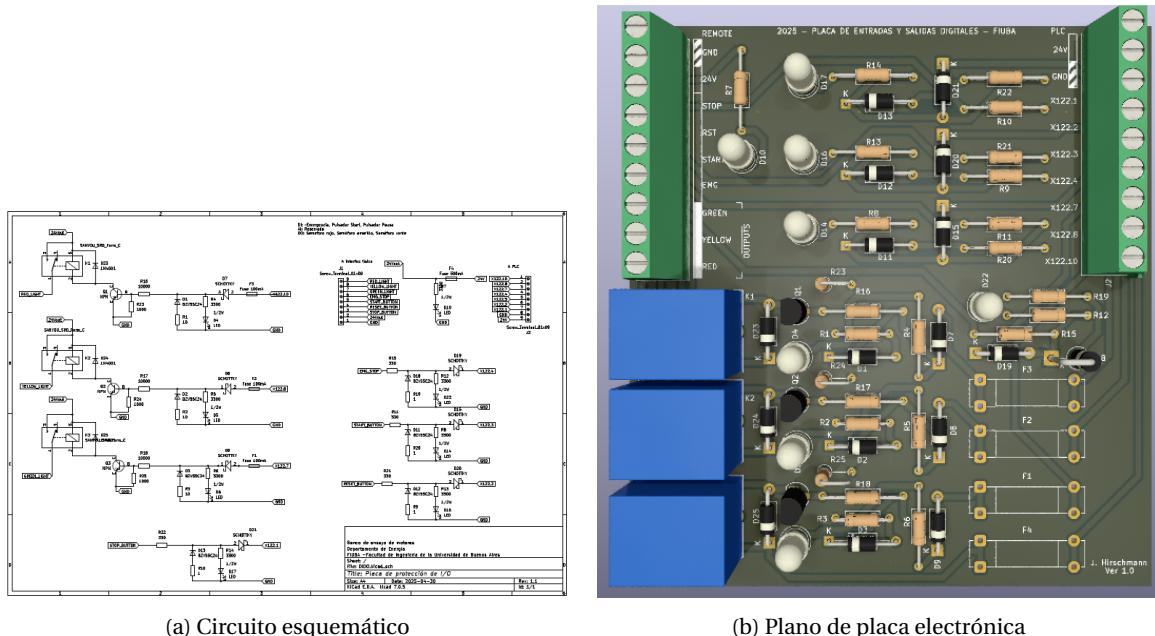


Figura 6: Diagramas de diseño de la placa en la interfáz física

La placa se encuentra conectada al puerto puerto X122 de la unidad de control. En su otro extremo, la placa se conecta con los botones de arranque, reseteo, frenado y emergencia, con la fuente de alimentación externa y con el indicador luminoso.

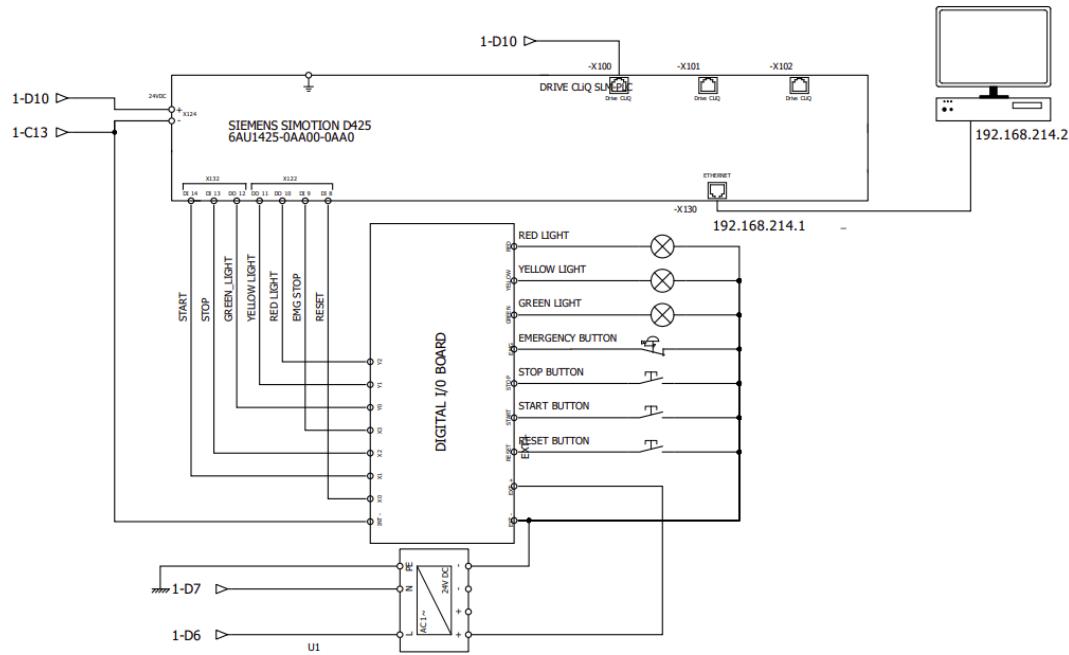


Figura 7: Detalle de la conexión de E/S

La placa incluye LEDs de verificación de estado que permiten corroborar rápidamente el estado de la alimentación, de los pulsadores y de las salidas.

5. Descripción de prestaciones

El banco de ensayos permite la introducción de consignas de cupla en tres régimenos distintos:

1. Cupla en función del tiempo: la consigna de cupla sigue una tabla de pares torque-tiempo cargada por el usuario
2. Cupla en función de la velocidad: la consigna de cupla sigue la ecuación $T(\omega) = A + B\omega + C\omega^2 + D\frac{d\omega}{dt}$, en donde el usuario introduce los parámetros A, B, C y D y ω es la velocidad angular del motor ensayado.
3. Cupla en función del tiempo y la velocidad: la cupla es la sumatoria de los valores de la tabla torque-tiempo y la ecuación torque-velocidad.

Los datos del ensayo son recolectados y representados gráficamente en tiempo real con una resolución temporal de aproximadamente 150ms. Luego de finalizar un ensayo, el operador puede exportar los datos recolectados en formato CSV.

5.1. Ensayos autocontenidos

Adicionalmente, es posible llevar a cabo los tres régimenes mencionados en una modalidad 'autocontenido'. En esta modalidad, el eje simulador debe ser acoplado mecánicamente al eje vacante del sistema de accionamientos.

Este modo de operación permite introducir consignas de velocidad-tiempo en el eje vacante para poder utilizarlo como dispositivo bajo prueba. El eje de simulación responderá con su consigna de cupla dependiendo del tipo de ensayo seleccionado.

El ensayo autocontenido tiene como finalidad poder probar perfiles de velocidad-tiempo y su respuesta en el eje de simulación. Esto puede ser útil para programar el dispositivo que finalmente sea ensayado.

6. Instalación

6.1. Instalación eléctrica

El banco de ensayo se encuentra instalado en un gabinete eléctrico siguiendo el cableado expuesto en el plano eléctrico, en la sección 10. Si es necesario reemplazar el gabinete eléctrico, consultar el manual 'SIMOTRON D425 commissioning and hardware installation manual'. Será necesario considerar la temperatura de trabajo, capacidad de transmisión de calor de un nuevo gabinete y la correcta puesta a tierra de las unidades.

6.2. Instalación de software de operación

El software de operación del banco puede obtenerse de dos maneras distintas. Una primera alternativa es utilizando una máquina virtual que ya contiene el software instalado y todo lo necesario para su uso. Esta opción permite que el usuario no modifique ciertas configuraciones de red en su computadora principal.

El segundo método es mediante un instalador de software, sin la necesidad de una máquina virtual. Este método tiene la ventaja de consumir una menor cantidad de recursos, ya que no requiere de la emulación de otra máquina.

6.2.1. Instalación de software - máquina virtual

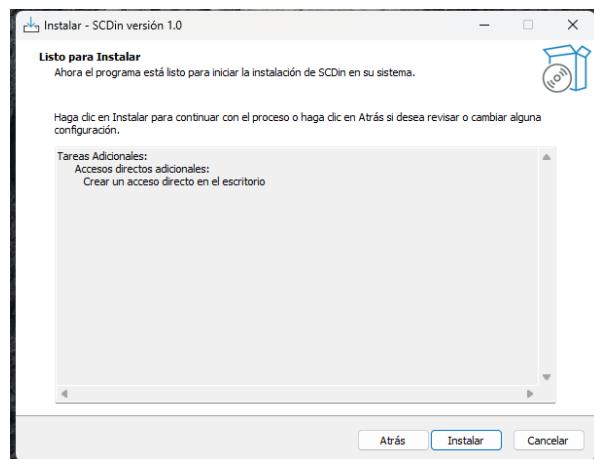
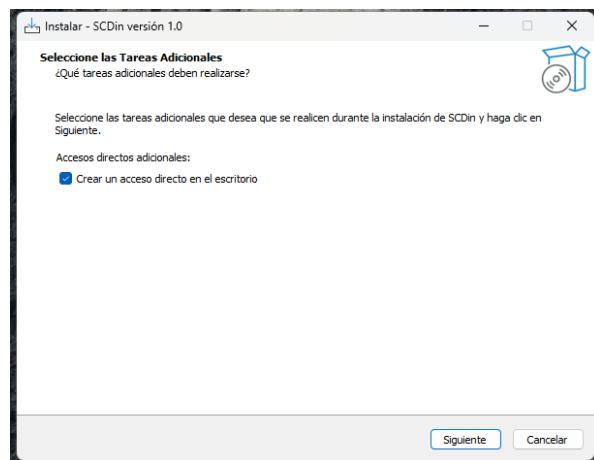
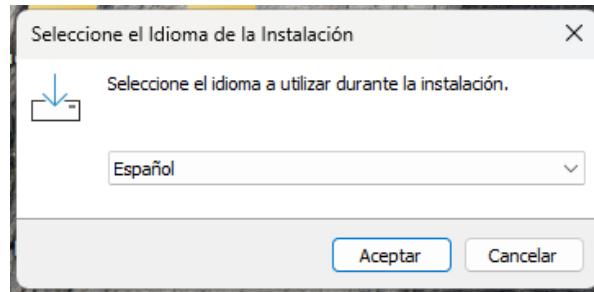
El software de operación del banco viene incluido en una máquina virtual con el nombre 'SCDIN'. Su instalación consiste en la configuración de la máquina virtual para poder adecuarla a una nueva computadora anfitriona.

6.2.2. Instalación de software - instalador

El software puede ser instalado en un sistema operativo usando el instalador 'SCDin - Setup.exe'. El software requiere de la instalación de la plataforma JAVA SE JDK21 o superiores¹.

A continuación, se presentan las distintas pantallas del instalador:

¹ Sitio web para descargas de JDK 21: <https://www.oracle.com/java/technologies/downloads/>





Al haber finalizado la instalación, se ejecutará el software SCDin. Si al abrir el software aparece una ventana con la leyenda 'This application requires a Java Runtime Environment (JRE)', significa que la aplicación no encontró la máquina virtual de JAVA instalada en la computadora.

Si efectivamente fue instalado el software JDK, entonces será necesario modificar las variables de entorno del sistema operativo, en particular la variable PATH². La modificación consiste en agregar el directorio con los archivos ejecutables de JDK en la variable PATH para que el sistema operativo reconozca los comandos JAVA. En Windows, JDK típicamente se instala en el directorio 'C:/Program Files/Java/jdk<versión instalada>/bin'.

6.2.3. Configuración IP

Es necesario configurar la computadora con la que se correrá la interfaz gráfica para que pertenezca a la misma red que la unidad de control. El puerto Ethernet (X130) de la unidad de control tiene la dirección IP 192.168.214.1. Entonces la computadora debe configurarse con una dirección IP en el mismo rango.

En Windows esto puede realizarse en 'Configuración de Ethernet'; si la red fuese solamente de dos estaciones una configuración válida sería:

- Dirección IPv4: 192.168.214.2
- Máscara IPv4: 255.255.255.0
- Puerta de enlace IPv4: 192.168.214.3

7. Realización de un ensayo

En esta sección se describirá cómo preparar el sistema para realizar un ensayo sobre un motor.

²Para más información consultar el siguiente enlace: <https://www.java.com/en/download/help/path.html>

7.1. Común a todo tipo de ensayo

Previo a realizar cualquier tipo de ensayo que no sea bajo la modalidad autocontenido, el dispositivo bajo prueba debe ser programado para seguir una consigna en un sistema de accionamiento propio, independiente del SIMOTION D425. Esta programación excede el objetivo de este texto, pero deben considerarse todas las medidas de seguridad correspondientes. Entre ellas, se debe conectar la entrada de la parada de emergencia del dispositivo bajo prueba al pulsador de parada de emergencia en la botonera del equipo. Esto debe hacerse con ambos equipos desenergizados.

⚠ Si las paradas de emergencia no se encuentran correctamente cableadas, el motor bajo prueba no detendrá su movimiento cuando se accione la emergencia. Esto puede llevar a accidentes

⚠ Asegúrese de que el equipo se encuentre desenergizado previo a realizar el acople del motor bajo prueba. Luego de acoplar el motor al eje de simulación, cubra el acople con la jaula de seguridad.

⚠ Previo a realizar el ensayo asegúrese de que el eje este cubierto con la jaula de protección. Evite el uso de prendas sueltas.

Energice el sistema de accionamientos girando la perilla en su extremo derecho. El sistema ahora se encuentra listo para conectarse con el software.

En la computadora conectada al sistema de accionamientos se debe abrir el programa SCDin.



Figura 8: Icono de escritorio del software SCDin

Al realizar esto, se iniciará el programa en su pantalla inicial:

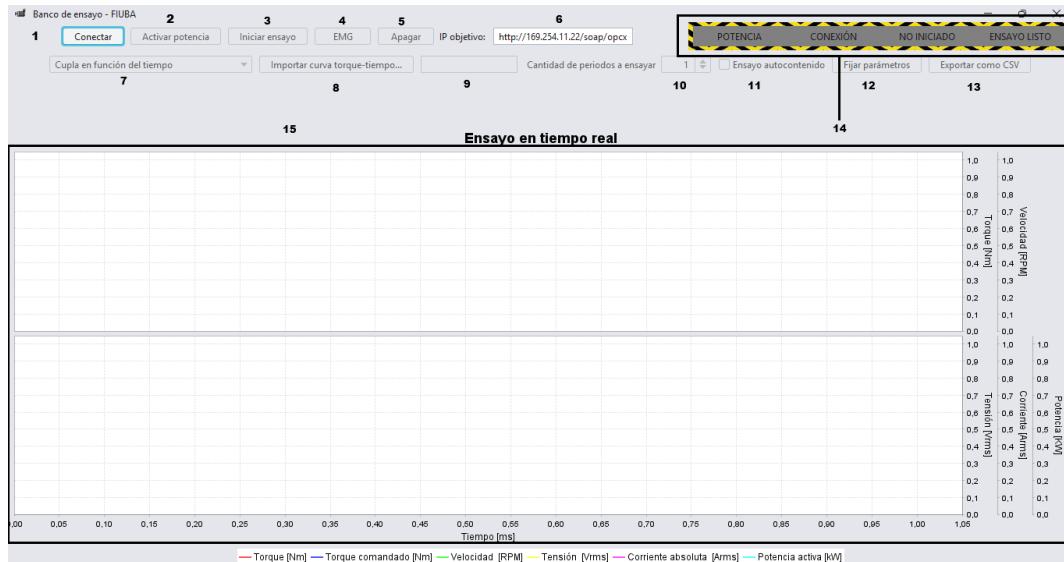


Figura 9: Pantalla inicial del programa

La pantalla principal contiene los siguientes elementos:

Componente	Descripción
1	Botón de conexión
2	Botón de activación de circuito de potencia
3	Botón de inicio de ensayo
4	Botón de activación de emergencia
5	Botón de apagado del sistema de accionamientos
6	Campo de texto para introducir la dirección del servidor OPC-XML DA
7	Selector de tipo de ensayo
8	Botón para importar la curva de cupla-tiempo en formato CSV
9	Campo de texto con el nombre de archivo de la curva de cupla-tiempo seleccionada
10	Cantidad de periodos a ejecutar de la curva cupla-tiempo seleccionada
11	Selector de ensayo autocontenido
12	Botón para fijar los parámetros del ensayo
13	Botón para exportar las mediciones realizadas en formato CSV
14	Panel de indicadores. De izquierda a derecha: activación de circuito de potencia, estado de la conexión con el sistema de accionamientos, estado actual del ensayo, estado de la carga de parámetros.
15	Gráfico de las mediciones de ensayo en tiempo real

Cuadro 3: Elementos de la pantalla principal

Una vez en la pantalla inicial, se deberá cliquear el botón 'Conectar'. Si la conexión no es exitosa, una alerta con el mensaje 'El control no está conectado. Verifique la configuración IP' se mostrará en pantalla. Si la alerta se dispara, referirse a la sección 8

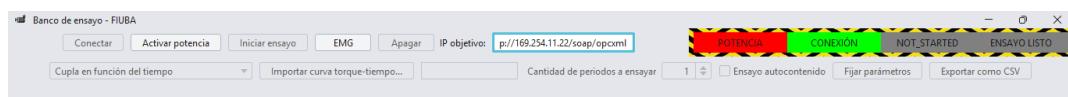


Figura 10: Franja superior del programa cuando la conexión es exitosa: en el panel de indicadores se señala el estado de conexión activa y de circuito de potencia inactivo

Al haber establecido la conexión con el control, se habilita el botón 'Activar potencia'. Tras hacer click se debería escuchar el encendido del módulo de línea y, 5 segundos después, la activación del accionamiento de servomotor.

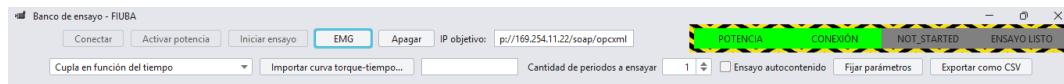


Figura 11: Franja superior del programa cuando la conexión es exitosa: en el panel de indicadores se señala el estado de conexión activa y de circuito de potencia activo

⚠️ Previo a activar el circuito de potencia del equipo verifique que la puerta del gabinete se encuentra cerrada. Existe riesgo de electrocución

En esta instancia el sistema está listo para procesar los datos del ensayo. En las secciones a continuación, se detallan las instrucciones para poder realizar todos los tipos de ensayo posibles.

⚠️ Si bien el sistema esta diseñado para identificar y prevenir fallas, no es completamente autónomo. No deje el equipo operando sin supervisión.

7.1.1. Inicio e interrupción de ensayos

Una vez realizada la carga del ensayo de los parámetros de ensayo, es posible iniciar un ensayo utilizando el botón de inicio de ensayo (elemento 3 en la tabla 3) de la interfaz gráfica o bien utilizando el botón de arranque en la botonera.

Para interrumpir el ensayo, es posible volver a clickear en el botón de inicio de ensayo -ahora con la leyenda 'Pausar ensayo'- o pulsar el botón de freno en la botonera. Para reanudar el ensayo, se deben seguir las instrucciones en el párrafo anterior.

7.1.2. Acople mecánico - sentido de giro

Es necesario acoplar el dispositivo bajo prueba al eje simulador del banco de ensayos. El banco de ensayos opone resistencia en sentido antihorario visto desde frente al eje de simulación. Es decir que, para utilizar el banco de ensayos para simular carga, el dispositivo acoplado debe también girar en sentido antihorario, visto desde frente.



Figura 12: Sentido de giro del motor de simulación visto desde frente. La imagen del motor es ilustrativa

⚠ El acople al eje simulador debe ser realizado de forma de reducir las vibraciones en el eje. Asegúrese de que el acople esté alineado y balanceado.

7.2. Ensayo de torque-tiempo

En el caso de los ensayos de torque-tiempo, es necesario cargar los pares torque-tiempo en formato CSV. Al hacer clic en el botón 'importar curva...' se abrirá un menú para seleccionar el archivo CSV. Al seleccionar un archivo, se graficará la curva de par-tiempo seleccionada:



Figura 13: Vista de la pantalla principal tras seleccionar una curva de cupla-tiempo

De ser necesario, el usuario puede incrementar la cantidad de períodos a ensayar.



Figura 14: Vista de la pantalla principal tras seleccionar una curva de cupla-tiempo y extender la cantidad de periodos de ensayo a 4.

Tras verificar que el perfil de cupla-tiempo es el adecuado, es posible enviar los parámetros de ensayo al sistema de accionamientos haciendo click en 'Fijar parámetros'. En caso de que haya algún error en los

parámetros de ensayo, se presentará una alerta indicando el tipo de error. Si ese fuera el caso, se deberá corregir la condición de falla y presionar el botón nuevamente.

Suponiendo que no haya habido ningún error, el sistema se encuentra listo para iniciar el ensayo:

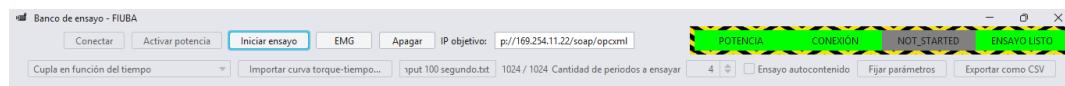


Figura 15: Franja superior del programa cuando el ensayo fue cargado correctamente: en el panel de indicadores se observa la leyenda 'ENSAYO LISTO'

Al seleccionar 'Iniciar ensayo', se comenzarán a actualizar las mediciones en pantalla y a graficar las diferentes variables de ensayo:

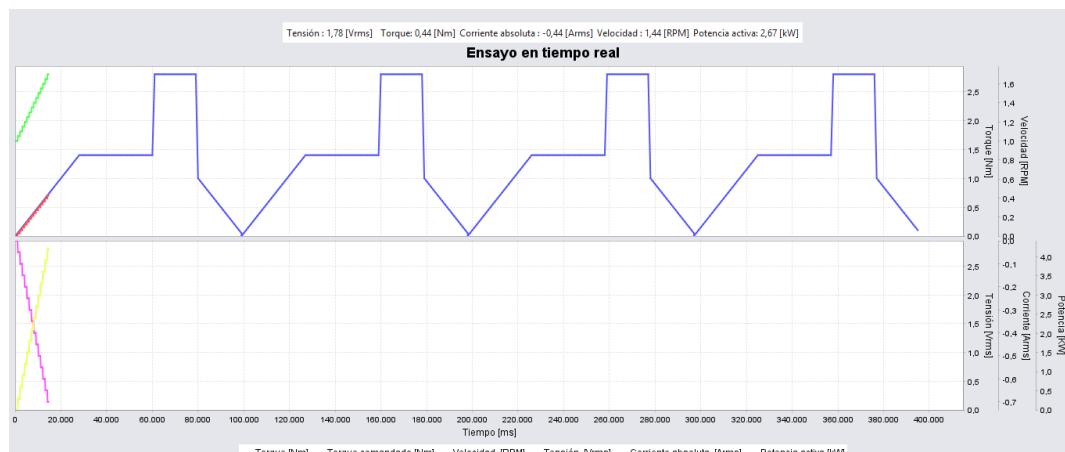


Figura 16: Panel de gráficos y mediciones en tiempo real cuando un ensayo esta en ejecución

Consideraciones del vector cupla-tiempo El banco de ensayos no realiza ningún tipo de interpolación entre los valores introducidos. Se mantiene el valor de cupla introducido hasta el siguiente comando de cupla-tiempo.

Para la correcta lectura del archivo CSV los valores correspondientes al tiempo de aplicación de la cupla se deberán expresar en milisegundos, mientras que la cupla se debe expresar en Nm. El archivo no debe tener encabezado. La división mínima entre comandos de cupla debe ser de 100ms o superior, no es necesario que los comandos se encuentren equiespaciados.

En la figura a continuación se observa un ejemplo de archivo aceptado:

```

1 0,0
2 100,2
3 200,3
4 350,4
5 500,5
6 600,5
7 825,5
8 .

```

```

9 .
10 .
11 10000,5
12 11000,5
13 12000,5
14 13000,5

```

Listing 1: Formato de archivo CSV

7.3. Ensayo tipo torque-velocidad

Una vez seleccionado el ensayo de tipo torque en función de la velocidad, es necesario completar los campos que corresponden a la ecuación de torque-velocidad. Estos campos son los parámetros de la ecuación cupla-velocidad y la duración del ensayo.

Para la duración del ensayo, se requiere introducir el tiempo de ensayo, en milisegundos. Este valor debe ser un número entero y superior a 100ms.

Como usualmente las consignas de velocidad referidas al eje suelen expresarse en RPM, los coeficientes de la ecuación se expresan en estos términos:

$$T(\omega) = A + B\omega + C\omega^2 + D\frac{\partial\omega}{\partial t}$$

Campo	Unidades	Rango de valores
A	Nm	0-26
B	Nm/RPM	0- $\frac{13}{\omega_{max}}$
C	Nm/RPM ²	0- $\frac{13}{\omega_{max}^2}$
D	Nms/RPM	0-0.2
$A + B\omega_{max} + C\omega_{max}^2 + D\max(\frac{d\omega}{dt}) < 26 \text{ Nm}$		

Figura 17: Términos de la ecuación torque-velocidad y sus rangos

Para el dimensionamiento de los parámetros B y C considere la consigna de velocidad a introducir en el sistema bajo prueba. A modo de ejemplo, si se introduce una consigna con velocidad máxima 1.000RPM, entonces en su punto máximo el término lineal será 1.000 veces B y el término cuadrático será 1.000.000 de veces C. Si el término B fuese 0,0026, entonces se excedería el valor de cupla máxima si la velocidad angular supera los 1000 RPM. El mismo razonamiento es posible para el término C.

En la tabla 4, se presentan los factores de conversión en el caso en que la velocidad se exprese en radianes por segundo.

Coeficiente	Unidad	Factor de conversión	Nueva unidad
B	Nms/rad	1/9.54	Nm/RPM
C	Nms ² /rad ²	1/91.1	Nm/RPM ²
D	Nms ² /rad	1/9.54	Nms/RPM

Cuadro 4: Tabla de factores de conversión para su expresión en las unidades de la ecuación cupla

Una vez seleccionados los parámetros, se debe hacer click en 'Fijar parámetros' para continuar con el ensayo. Esto inicia la descarga de parámetros hacia el control. Cuando esta carga haya finalizado, se observará la leyenda 'ENSAYO LISTO'.



Figura 18: Franja superior del programa cuando el ensayo fue cargado correctamente.

Luego de verificar que el ensayo se podrá llevar a cabo de manera segura, es posible iniciar el ensayo haciendo click en 'Iniciar ensayo'. A partir de este momento, será posible el movimiento en los ejes.

7.4. Ensayo mixto

El ensayo mixto es un tipo de ensayo en el que se ejecutan en superposición los comandos de cupla en función del tiempo y los comandos de cupla en función de la velocidad. Para su realización, es necesario cargar un archivo con las consignas de cupla-tiempo, como también definir los parámetros correspondientes a la ecuación cupla.

Dado que ambos modos actúan en simultáneo, es fundamental que la sumatoria de las cuplas generadas no supere el valor máximo permitido por el sistema, lo cual es difícil de prever antes de realizar el ensayo.

A fin de evitar un exceso de cupla, se recomienda ejecutar de manera independiente los ensayos de cupla-tiempo y de cupla-velocidad, y posteriormente realizar un ensayo mixto como combinación de ambas contribuciones. Este enfoque permite estudiar el impacto conjunto de las distintas acciones de control sobre la cupla total aplicada al sistema.

Duración de ensayo El ensayo mixto se ejecuta hasta que haya finalizado la ejecución de comandos de cupla-tiempo.

7.5. Ensayo autocontenido

El ensayo autocontenido es una modalidad que permite ejecutar cualquier tipo de ensayo utilizando, como motor de tracción, el servomotor Siemens que ya está incluido con el banco de ensayos.

Esta modalidad tiene como objetivo poder realizar demostraciones rápidas del banco de ensayo. Esto puede ser utilizado para estudiar el comportamiento deseado del ensayo antes de programar un perfil de velocidad-tiempo en el dispositivo que se desea ensayar, entre otras cosas.

Para utilizar esta función, es necesario tildar la caja con la leyenda 'ensayo autocontenido' que se muestra como ítem 11 en la tabla 3. Esto desplegará una ventana con un gráfico de variables de ensayo, independiente del gráfico en la ventana principal del programa, y un botón que permite seleccionar un archivo de velocidad-tiempo.

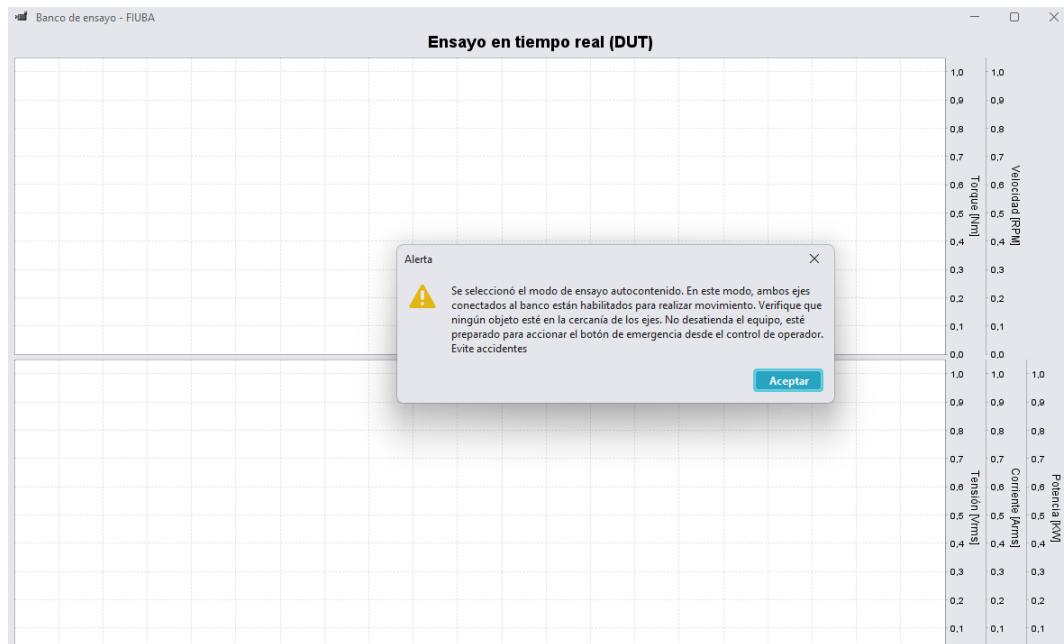


Figura 19: Ventana de advertencia en el modo de ensayo autocontenido

Al aceptar la advertencia, será necesario introducir un perfil de velocidad en función del tiempo en formato CSV. El formato del archivo deberá respetar las indicaciones en el cuadro 7.2.



Figura 20: Franja superior del programa al seleccionar 'ensayo autocontenido'

⚠ En el modo de operación autocontenido, ambos ejes son capaces de producir movimiento. Verifique que ningún objeto se encuentre en la cercanía de los ejes. No desatienda el equipo durante la operación, esté preparado para accionar el botón de emergencia desde el control de operador.

Duración de ensayo El ensayo autocontenido se ejecuta hasta que haya finalizado el tiempo de ejecución de su comando subyacente o se hayan ejecutado todos los pares velocidad-tiempo, lo que ocurra primero.

8. Resolución de problemas

⚠️ Previo a manipular el interior del equipo asegúrese de utilizar elementos de protección personal e instrumental adecuado.

8.1. Indicadores LED de la unidad de control

La unidad control D425, cuenta con dos bloques de cuatro indicadores LED para informar el estado del sistema de accionamientos.

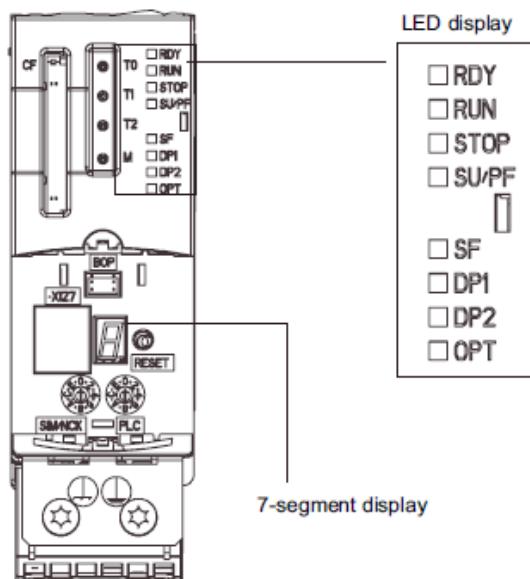


Figura 21: Ubicación de los indicadores LED en la unidad de control

Durante la operación usual, el sistema correrá en los estados RUN cuando el control se encuentre conectado al software y en STOP cuando no. El indicador SF señala un estado de error en el SIMOTION D425. Para más información, referirse al manual 'Commmisioning and Hardware Installation Manual'.

Falla	Posibles causas	Verificación	Respuesta
El sistema no enciende	El sistema está desenergizado	Verifique el interruptor general del sistema de accionamientos. Verificar tensión de alimentación trifásica. Verificar tensión se alimentación del circuito control (fuente de alimentación SITOP). Verificar la presencia de LEDs encendidos en la unidad de control.	<ol style="list-style-type: none"> Si hay luces encendidas en la unidad de control consultar el manual 'Commmisioning and Hardware Installation Manual' en particular la sección '9.1.1 SIMOTION D4x5-2 and SINAMICS Integrated displays' para el diagnóstico de la falla. Si no hay luces encendidas en el módulo, verificar el estado de la fuente interna de alimentación (SITOP). Reemplace componentes afectados Realice el procedimiento de carga de software en la sección 8.2.
El ensayo no inicia	La interfaz física está desconectada	Verifique que los LEDs que indican el estado de la fuente de alimentación interna y externa se encuentran encendidos.	<ol style="list-style-type: none"> Verificar la conexión del Botón de emergencia Falla en la fuente externa de 24V. Falla en la fuente interna de 24V.
	La interfaz por software está desconectada	Verifique que el puerto Ethernet de la computadora esté conectado al puerto X130 del control. Utilizando la línea de comandos realice un PING a la dirección IP 192.168.214.1.	<ol style="list-style-type: none"> Error de configuración IP. Siga los pasos en la sección 6.2.3. Falla en cable Ethernet.

	Falla en la unidad de control	Verificar la presencia de LEDs encendidos en la unidad de control.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique que el sistema no se encuentre en estado de emergencia. 2. Si hay luces encendidas en la unidad de control consultar el manual 'Commmisioning and Hardware Installation Manual' en particular la sección '9.1.1 SIMOTION D4x5-2 and SINAMICS Integrated displays' para el diagnóstico de la falla. 3. Apague el sistema y vuelva a encenderlo. 4. Realice el procedimiento de carga de software en la sección 8.2.
Uno o más botones no responden.	Falla mecánica	Pulse el botón, la luz indicadora en la placa electrónica debería encenderse	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reemplazo del botón 2. Falla en el cableado
	Falla en el puerto de entradas/-salidas digitales	Apague la máquina. Mida resistencia entre los pines de la fuente de alimentación interna. Revise la tensión de la fuente interna de 24V y las conexiones en los puertos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuente interna en cortocircuito 2. Falla en fuente externa. 3. Falla en la placa de E/S (cortocircuito). 4. Falla en el cableado.

<p>El software inicia con la leyenda: 'Otra instancia de SCDin se está ejecutando. Por favor, finalice el proceso para poder abrir una nueva instancia.'</p>	<p>El software detectó que otra instancia de SCDin se está ejecutando</p>	<p>Verifique si en el administrador de tareas (en Windows se invoca con la combinación ctrl+shift+esc) existe un proceso con el nombre OpenJDK Platform Binary - SCDin - Simulador de Carga Dinámica.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si SCDin esta abierto, cierre la ventana antes de abrir nuevamente el software. 2. Si el proceso existe, pero SCDin no está abierto. Detenga la ejecución del proceso y realice el procedimiento en el punto 3. 3. Si el proceso y SCDin no están en ejecución. Diríjase a la carpeta C:/Usuarios(users)/ [Nombre de usuario]/ AppData/Roaming/ SC DIN/lockfile y elimine el archivo lockfile.
--	---	---	---

8.2. Carga de software de sistema

En ocasiones es posible que sea necesario restaurar el software del sistema. Para realizar ello, es necesario configurar la computadora según lo descrito en la sección 6.2.3.

Una vez realizado ello, es necesario abrir el software SIMOTION SCOUT V4.4.



Figura 22: Icóno de escritorio de SIMOTION SCOUT V4.4

Dentro del software se debe acceder a la opción 'open project' (abrir proyecto):

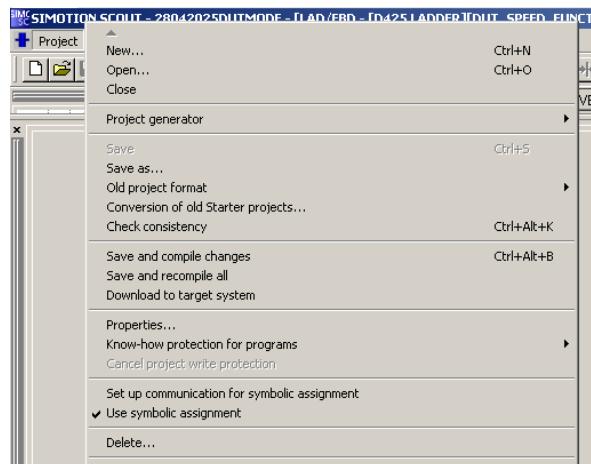


Figura 23: Menú de proyecto

Al cliquear en la opción abrir proyecto se desplegará un menú con los proyectos disponibles. El proyecto a seleccionar se llama 'SCDIN' y está ubicado en la dirección 'documentos/SCDIN'.

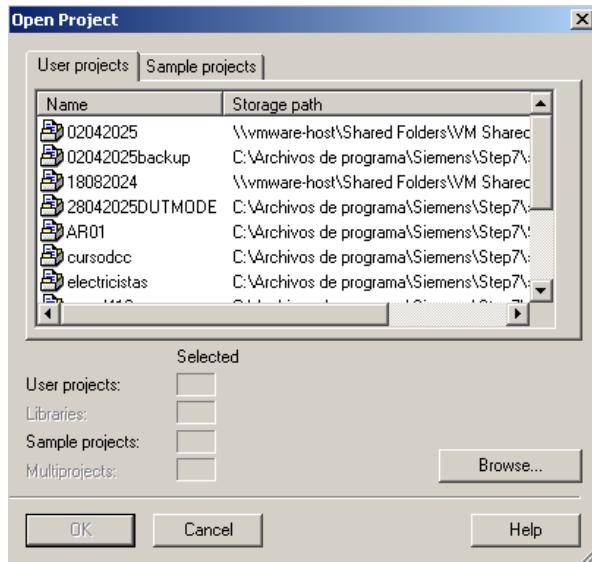


Figura 24: Menú de selección de proyecto

Luego de cargar el proyecto a SIMOTION SCOUT, es necesario descargarlo al controlador del equipo. Para hacer esto, lo primero es conectarse con la unidad utilizando el botón "connect to target device":

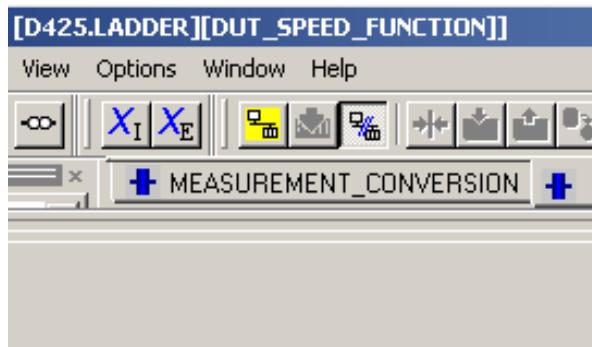


Figura 25: Botón de conexión con la unidad de control en SIMOTION SCOUT V4.4

Una vez establecida la conexión, es necesario descargar el programa de usuario en la unidad de control.

Para realizar ello, se utiliza el botón "download to target device". Luego de hacer click en el botón, se despliega el siguiente menú:

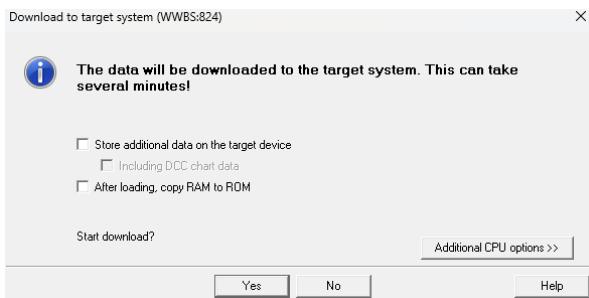


Figura 26: Menú de descarga

Clickear aceptar usando la misma configuración que se muestra en la figura anterior. El programa alertará sobre la necesidad de llevar el sistema del estado RUN al estado STOP.



Figura 27: Menú de descarga

Es necesario aceptar para poder descargar el programa de usuario en la unidad de control. Al finalizar la descarga el software dará la opción de cambiar el estado del sistema a RUN. Seleccione la opción "No":

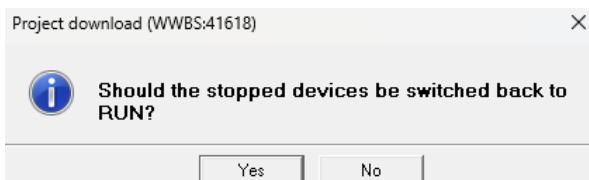


Figura 28: Menú de descarga

El software ya fue cargado a la unidad de control. Realizar pruebas con la máquina para verificar el correcto funcionamiento de los ensayos. Repetir el procedimiento si es necesario.

8.3. Verificación de señales de LADDER

El entorno de desarrollo SIMOTION SCOUT permite la visualización en tiempo real de las variables de programa. Para realizar esto se debe cargar el software a la unidad de control, como indica la sección anterior, y en la ventana de edición del programa seleccionar el ícono de "program status".

Una vez realizado ello, el software que está siendo ejecutado se iluminará de rojo o verde en función de su estado lógico. También es posible observar el valor de las variables en tiempo real.

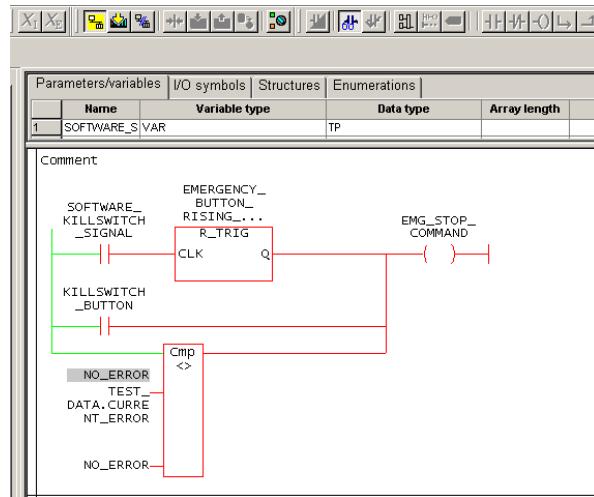


Figura 29: "Program status" siendo ejecutado

Para más información sobre este modo de operación, consultar el manual "SIMOTION SCOUT LAD/FBD programming and operating manual".

8.4. Cambio de dirección IP del control

En el caso de que se requiera, es posible modificar la dirección IP del control utilizando el software de programación SIMOTION SCOUT. Para realizar esta modificación, será necesario referirse al manual 'SIMOTION Motion Control SIMOTION SCOUT Configuration Manual' en la sección 6.4.3: 'Connecting to the target system'.

8.5. Registro de modificaciones

Fecha	Motivo	Reparación	Autor

9. Guía rápida para generar archivos de ensayo utilizando la planilla de cálculo de MS Excel

Es posible generar los archivos de pares de puntos para los ensayos de torque en función del tiempo o velocidad en función del tiempo utilizando la herramienta MS Excel. En esta sección se presenta una guía rápida para poder generar archivos aceptados por el software SCDin.

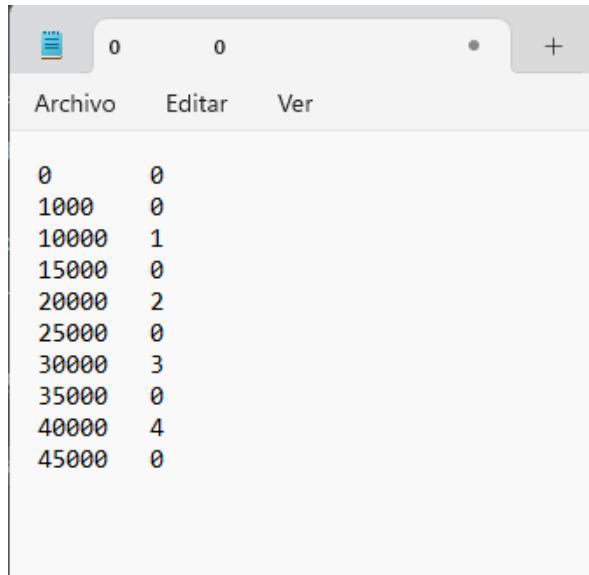
En primer lugar, será necesario iniciar una planilla en blanco e insertar, en dos columnas, los pares torque-tiempo a simular. La primera columna será el vector de tiempos, mientras que la segunda será el vector de consignas de cupla.

	A	B
1	0	0
2	1000	0
3	10000	1
4	15000	0
5	20000	2
6	25000	0
7	30000	3
8	35000	0
9	40000	4
10	45000	0
11		

Figura 30: Ejemplo de ensayo de cupla-tiempo en MS Excel. La columna de la izquierda es la consigna de tiempo (en milisegundos), mientras que la de la derecha es la consigna de cupla (en Nm).

A los 10 segundos se aplicará un torque constante de 1Nm durante 5 segundos, el eje permanecerá con cupla nula durante otros 5 segundos. Luego, a los 20 segundos de iniciado el ensayo, se aplicará una cupla de 2Nm durante 5 segundos y se llevará el eje a cupla nula por otros 5 segundos. El ensayo evoluciona de manera similar hasta alcanzar los 50 segundos de duración total.

Para transformar esta matriz a un formato legible por el software, es posible copiar la tabla completa y pegarla en un editor de texto como *Bloc de Notas*.



A screenshot of a text editor window. At the top, there is a toolbar with icons for file operations, and the numbers '0' and '0' are displayed. Below the toolbar, a menu bar has 'Archivo', 'Editar', and 'Ver' options. The main area contains a 10x2 grid of numerical values:

0	0
1000	0
10000	1
15000	0
20000	2
25000	0
30000	3
35000	0
40000	4
45000	0

Figura 31: Matriz luego de ser pegada en un editor de texto

Una vez en el editor de texto, será necesario reemplazar los caracteres de forma tal que el formato sea aceptado por el software. En primer lugar, será necesario la coma (,) del separador decimal para utilizar el punto (.). Luego, será necesario reemplazar la tabulación por la coma (,):

De esta forma, las columnas estarán separadas por coma y los valores fraccionarios o decimales con el separador (,):

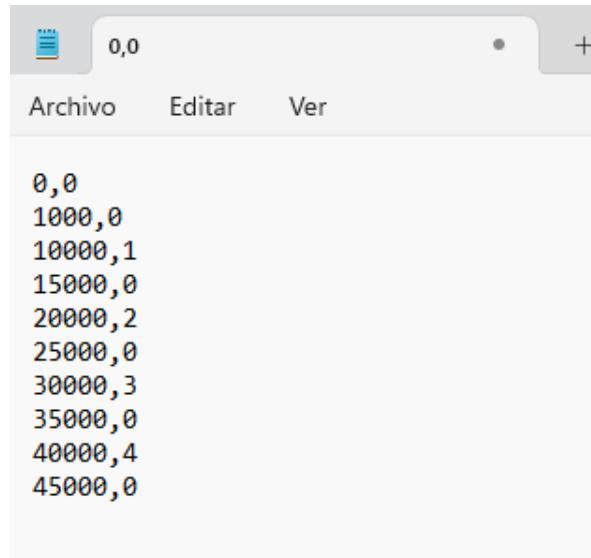
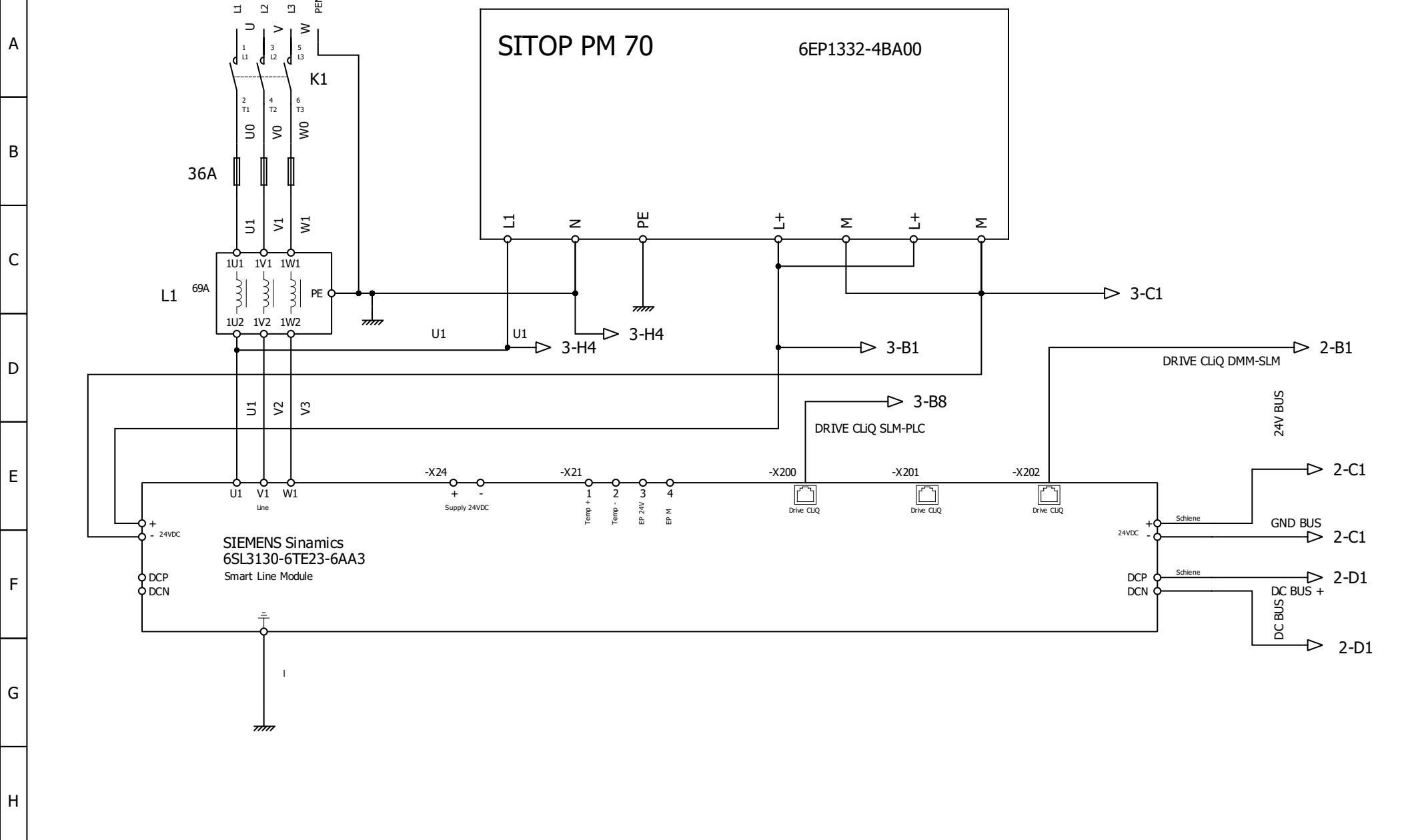


Figura 32: Texto convertido en formato CSV

Reemplazo de caracteres en *Bloc de notas* (solo para Windows) Para reemplazar caracteres en *Bloc de notas* el atajo de teclado es el ctrl+H. En el campo de texto superior se inserta el carácter a reemplazar, mientras que en el campo inferior se inserta el carácter reemplazante. Para introducir la tabulación se debe mantener pulsada la tecla ALT y el número 009, al soltar la tecla se introducirá la tabulación.

Finalmente, se debe guardar el archivo con las modificaciones realizadas para poder ser leído posteriormente por SCDin.

10. Plano eléctrico del sistema



The diagram illustrates the electrical connections for a Siemens Sinamics 6SL3120-2TE21-8AA3 Double Motor Module. The connections are organized into horizontal rows labeled A through H.

- Row A:** Power connection from a **Drive CLiQ DMM-SLM** module. It includes a **24V BUS** connection (1-D16) and a **24VDC** connection (1-F16).
- Row B:** Control connection from the **Drive CLiQ DMM-SLM**. It includes a **1-E16** connection and a **Drive CLiQ** interface.
- Row C:** Power connection to the first motor drive. It includes a **GND BUS** connection (1-F16), a **24VDC** connection (1-F16), and a **DC BUS +** connection (1-F16).
- Row D:** Power connection to the second motor drive. It includes a **DC BUS -** connection (1-G16) and a **DCN** connection (1-F16).
- Row E:** Power connection to the first motor drive. It includes **U**, **V**, **W**, **PE**, **BR+**, and **BR-** terminals.
- Row F:** Power connection to the first motor drive. It includes **U**, **V**, **W**, **PE**, and a **Drive CLiQ interface** terminal. The motor is labeled **SIEMENS 1FK105-5AF71-1UGO** with **18A** and **3000min-1** ratings. A torque sensor (θ) and a resistor (**R**) are also connected.
- Row G:** Power connection to the second motor drive. It includes **U**, **V**, **W**, **PE**, and a **Drive CLiQ interface** terminal. The motor is labeled **SIEMENS 1FK105-5AF71-1UGO** with **18A** and **3000min-1** ratings. A torque sensor (θ) and a resistor (**R**) are also connected.
- Row H:** Not explicitly labeled but likely continuation of the power connections for the second motor drive.

Central labels in the diagram include **SIEMENS Sinamics 6SL3120-2TE21-8AA3 Double Motor Module**, **Drive CLiQ interface**, and **Drive CLiQ**.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

