



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



UNIVERSIDAD DE JAÉN

MÁSTER EN CONTROL
DE PROCESOS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA EL
CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD DE
SERVOMOTORES MEDIANTE PLC CON
INTERFAZ SCADA

AUTORES: JAVIER LÓPEZ MORALES

JOSÉ ANTONIO MORALES CEBALLOS

DIRECTOR: JUAN JESÚS LUNA RODRÍGUEZ

DICIEMBRE 2014



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Departamento de Arquitectura de
Computadores, Electrónica y
Tecnología Electrónica.

D. Juan Jesús Luna Rodríguez, profesor de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba, perteneciente al Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica.

HACE CONSTAR

que los alumnos de Máster en Control de Procesos Industriales, **Javier López Morales** y **José Antonio Morales Ceballos** han desarrollado, bajo su dirección, el Trabajo Fin de Máster **“Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores mediante PLC con interfaz SCADA”**, habiendo superado, a su juicio, todos los objetivos inicialmente propuestos.

Y para que así conste a todos los efectos, firma en Córdoba a 25 de Noviembre de 2014.

Fdo.: D. Juan Jesús Luna Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares, quienes nos han dado todo el apoyo necesario para llegar hasta aquí.

A nuestros compañeros y amigos, por su compañerismo y su ayuda incondicional.

A la persona más influyente en nuestra trayectoria académica sin duda, nuestro director de proyecto, Juan Jesús Luna, por sus ánimos y por su inestimable ayuda a diario.

SIGLAS

EUA	(Estados Unidos de América)
RAE	(Real Academia Española)
DM	(Memoria de datos)
PLC	(Programmable Logic Controller)
HMI	(Human Machine Interface)
SCADA	(Supervisory Control And Data Adquisition)
CW	(Clockwise)
CCW	(Counterclockwise)
PCB	(Printed Circuit Board)
SMD	(Surface Mount Device)
SMT	(Surface Mount Technology)
CN	(Control Numérico)
PC	(Personal Computer)
COM	(Component Objetc Model)
OLE	(Object Linking and Embedding)
DDE	(Dynamic Data Exchange)
OPC	(OLE for Process Control)
ADO	(ActiveX Data Objects)
HIV	(Heat-resistant Vinyl-insulated Cable)
PVC	(Polyvinyl chloride)

PRÓLOGO

El presente proyecto surge fruto de un convenio entre la empresa VARILAMP (empresa cordobesa situada en el polígono industrial Las Quemadas y dedicada a la fabricación de dispositivos de iluminación) y la Universidad de Córdoba a través del Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica. Dicho proyecto pretende el acercamiento entre los alumnos de carreras técnicas y el sector industrial, a través de un módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores, así como la creación de una interfaz hombre-máquina (HMI SCADA) para el control y parametrización de servomotores industriales. Como desenlace de este acercamiento alumno-industria, se conseguirá la aplicación a un caso práctico mediante la monitorización de un proceso industrial real, como por ejemplo, el control de una máquina ensambladora de componentes “*pick & place*”.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
HISTORIA	1
CAPITULO I. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD	5
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2 OBJETIVOS	6
1.3 ANTECEDENTES	7
1.4 RESTRICCIONES	9
1.4.1 SERVODRIVE	10
1.4.2 SERVOMOTOR	10
1.4.3 PLC	
1.4.4 PC	10
1.5 PARTES DEL PROYECTO	17
1.6 FASES DE TRABAJO	20
CAPITULO II. CONSIDERACIONES TEÓRICAS	23
2.1 TÉCNICAS DE POSICIONAMIENTO	23
2.2 SERVOMOTOR	24
2.3 SERVODRIVE	31
2.4 ENCODER	
2.4.1 ENCODER INCREMENTAL	37
2.4.2 ENCODER ABSOLUTO	38
2.5 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	36
2.6 TIPOS DE SERVOMOTORES	39
2.6.1 SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC	40
2.6.2 SERVOMOTORES INDUSTRIALES O DE IMANES PERMANENTES	41
2.7 TECNOLOGÍAS DE CONTROL	

2.7.1 CONTROL DE SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC	40
2.7.2 CONTROL DE SERVOMOTORES INDUSTRIALES	41
2.7.2.1 Tarjeta de posición en PLC	13
2.7.2.2 Servodrive	13
2.7.2.3 Soluciones basadas en bus digital	13
2.8 VENTAJAS/INCONVENIENTES DE LOS SERVOMOTORES	39
2.8.1 SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC	40
2.8.2 SERVOMOTORES INDUSTRIALES O DE IMANES PERMANENTES	41
2.9 APLICACIONES DE LOS SERVOMOTORES	39
2.9.1 SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC	41
2.9.2 SERVOMOTORES INDUSTRIALES O DE IMANES PERMANENTES	41
CAPITULO III. SOLUCIÓN AL PROBLEMA	43
3.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS	43
3.2 RECURSOS	45
3.2.1 RECURSOS MATERIALES DE TIPO HARDWARE	47
3.2.1.1 CPU (Unidad Central de Procesamiento)	47
3.2.1.2 Módulo de entradas/salidas de pulsos	48
3.2.1.3 Módulo de entradas digitales	49
3.2.1.4 Módulo de salidas digitales	52
3.2.1.5 Fuente de alimentación	56
3.2.1.6 Servodrive	60
3.2.1.7 Servomotor	56
3.2.1.8 Conector	60
3.2.2 RECURSOS MATERIALES DE TIPO SOFTWARE	71
3.2.2.1 CX-Programmer	71
3.2.2.2 CX-Supervisor	7
3.2.2.3 Microsoft Excel	7
3.3 SECUENCIA DE ARRANQUE	74
3.3.1 CIRCUITO	74
3.3.1.1 Esquema	83

3.3.1.2 Funcionamiento	83
3.3.2 COMPONENTES	75
3.3.2.1 Trafo	87
3.3.2.2 MCCB (Interrupor magnético en caja moldeada)	87
3.3.2.3 Filtro de ruido	88
3.3.2.4 Contactor magnético	87
3.3.2.5 Relé	87
3.3.2.6 Pulsador	88
3.3.2.7 Parada de emergencia	87
3.3.2.8 Cableado	88
3.4 ADAPTACIÓN DE SEÑALES Y CONEXIONADO	76
3.4.1 SEÑALES DE E/S DEL MÓDULO DE PULSOS MD211	77
3.4.2 SEÑALES DE E/S DEL SERVODRIVE	80
3.4.3 SEÑALES DEL ENCODER	77
3.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES Y CÁLCULOS	80
3.4.5 CONEXIONADO MÓDULO DE PULSOS - SERVODRIVE	77
3.4.6 CONEXIONADO ENCODER - SERVODRIVE	80
3.4.7 CONEXIONADO SERVOMOTOR - SERVODRIVE	77
3.5 PROGRAMACIÓN DEL PLC	82
3.5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS	82
3.5.2. INSTRUCCIONES	89
3.5.3 PROGRAMAS Y SECCIONES	95
3.5.4 SÍMBOLOS	97
3.5.5 ÁREAS DE MEMORIA	98
3.5.6 CONFIGURACIONES	95
3.5.7 BÚSQUEDA DE ORIGEN	97
3.6 DISEÑO DEL SCADA Y HMI	99
3.6.1 SCRIPTS	99
3.6.2 REGISTRO DE DATOS	107

3.6.3 PUNTOS	108
CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	117
4.1 CONCLUSIONES	117
4.2 TRABAJOS FUTUROS	117
BIBLIOGRAFÍA	119

ANEXO I. MANUAL DE USUARIO

ANEXO II. DOCUMENTACIÓN DEL CÓDIGO PLC

ANEXO III. DOCUMENTACIÓN DE LOS SCRIPTS

ANEXO IV. MANUAL DE ACTIVIDADES

ANEXO V. VISUALIZACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Servomotor de Farcot (1873).*
- Figura 2. Esquema del sistema.*
- Figura 3. Método 1.*
- Figura 4. Método 2.*
- Figura 5. Método 3.*
- Figura 6. Fases de trabajo.*
- Figura 7. Técnicas de posicionamiento.*
- Figura 8. Interior de un encoder.*
- Figura 9. Representación de las señales incrementales A, B y Z en disco óptico.*
- Figura 10. Encoder incremental.*
- Figura 11. Encoder absoluto.*
- Figura 12. Encoder absoluto óptico.*
- Figura 13. Transmisión de movimiento.*
- Figura 14. Estructura típica.*
- Figura 15. Servomotor.*
- Figura 16. Servomotor.*
- Figura 17. Imanes del servomotor.*
- Figura 18. Partes del servomotor.*
- Figura 19. Tipos de servomotores*
- Figura 20. Esquema de control.*
- Figura 21. Diagrama de tiempo.*
- Figura 22. Posiciones angulares servomotor.*
- Figura 23. Esquema de control.*
- Figura 24. Esquema de control servodrive.*
- Figura 25. Diagrama señales CW/CCW.*
- Figura 26. Diagrama señales Sign/Puls.*
- Figura 27. Diagrama señales Phase A/Phase B/Phase C.*
- Figura 28. Esquema de control mediante Bus.*
- Figura 29. Gama de servomotores.*
- Figura 30. Robot compuesto por servomotores.*
- Figura 31. Avión compuesto por servomotores.*
- Figura 32. Robot cartesiano compuesto por servomotores.*
- Figura 33. Esquema de control para el doblado de cajas de cartón.*

Figura 34. Esquema de control para el envasado de productos alimenticios.

Figura 35. Esquema de control para el bobinado de carretes de hilo.

Figura 36. Esquema de control para el llenado de garrafas.

Figura 37. Módulo de pulsos.

Figura 38. Métodos de salida.

Figura 39. Módulo de entradas digitales.

Figura 40. Módulo de salidas digitales.

Figura 41. Conector.

Figura 42. CX-Programmer.

Figura 43. CX-Supervisor.

Figura 44. Excel.

Figura 45. Circuito de arranque.

Figura 46. Circuito de arranque.

Figura 47. MCCB.

Figura 48. Filtro de ruido.

Figura 49. Esquema filtro de ruido.

Figura 50. Contactor magnético.

Figura 51. Conexión interno.

Figura 52. Esquema eléctrico.

Figura 53. Circuito interno de señales de salida.

Figura 54. Circuito interno de señales de entrada.

Figura 55. Esquema filtro de ruido.

Figura 56. Circuito interno de señales de entrada.

Figura 57. Conexión de la señal salida.

Figura 58. Circuito de las señales de pulso.

Figura 59. Conector C1N.

Figura 60. Conector del módulo.

Figura 61. Esquema de conexionado módulo de pulsos - servodrive.

Figura 62. Conector C2N.

Figura 63. Conexión servomotor - servodrive.

Figura 64. Búsqueda de origen.

Figura 65. Retorno a origen.

Figura 66. Instrucción ACC. Modo continuo.

Figura 67. Instrucción ACC. Modo independiente.

Figura 68. Instrucción SPED. Modo continuo.

Figura 69. Instrucción SPED. Modo independiente.

Figura 70. Estructura del programa.

Figura 71. Asignación automática de E/S básicas.

Figura 72. Asignación de los módulos de E/S.

Figura 73. Salida de pulsos y búsquedas de origen.

Figura 74. Asignación del módulo de E/S.

Figura 75. Operación de búsqueda de origen.

Figura 76. Inversión de sentido durante la búsqueda de origen.

Figura 77. Conexiones.

Figura 78. Editor de secuencias de comandos.

Figura 79. Registro de datos.

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Métodos de control.</i>	46
<i>Tabla 2. Recursos hardware.</i>	47
<i>Tabla 3. Recursos software.</i>	50
<i>Tabla 4. Entradas del módulo de pulsos.</i>	53
<i>Tabla 5. Salidas del modulo de pulsos.</i>	53
<i>Tabla 6. Tabla MCCB.</i>	54
<i>Tabla 7. Tabla Filtro de ruido.</i>	54
<i>Tabla 8. Cableado recomendado.</i>	56
<i>Tabla 9. Señales de salida.</i>	56
<i>Tabla 10. Señales de entrada.</i>	61
<i>Tabla 11. Señales de E/S del servodrive.</i>	61
<i>Tabla 12. Señales del encoder.</i>	66
<i>Tabla 13. Especificaciones de las señales de salida de pulsos.</i>	76
<i>Tabla 14. Especificaciones de las señales de entrada.</i>	78
<i>Tabla 15. Identificación de pines del conector.</i>	79
<i>Tabla 16. Símbolos.</i>	76
<i>Tabla 17. Áreas de memoria.</i>	78
<i>Tabla 18. Modos de búsqueda automático de origen.</i>	79
<i>Tabla 19. Descripción de los puntos.</i>	78
<i>Tabla 20. Información de los puntos.</i>	79

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las industrias, empieza a evidenciarse un auge importante de la utilización de servomotores en máquinas que, tradicionalmente, trabajan con componentes mecánicos e hidráulicos, no porque estos últimos sean de menor calidad o no cumplan con lo requerido, sino porque los servomotores poseen características de adaptabilidad y flexibilidad mayores.

Los servomotores pueden ser utilizados en diversas aplicaciones industriales que requieran de una exigencia elevada en dinámica, precisión de posición y velocidad, además, de un control fiable y funcionalmente fácil de manejar; factores determinantes para aumentar calidad, competitividad y productividad.

El reciente auge no quiere decir que los avances con servomotores sean de hace poco, porque a nivel internacional, hay empresas que hace más de una década realizan desarrollos en el campo, para perfeccionarlos y aplicarlos a máquinas que son fundamentales para el buen trasegar productivo de variados sectores industriales, reemplazando la fuerza principal de éstas, generada por componentes mecánicos o hidráulicos, con servomotores robustos capaces de generar la misma potencia.

HISTORIA

En cuanto al origen del término "servo", se ha sugerido que la palabra francesa *cerveau* (cerebral) podría ser la raíz de dicho término, pero es más probable que proceda del latín *servus*, que en castellano (y en francés) da lugar a palabras como "servicio" y "servir". Parece que el término "servomotor" en Inglés tiene su procedencia de la palabra francesa *servomoteur*, a finales de 1800, y es concebible que el uso francés de la palabra incluía un juego de palabras con *cerveau*, pero está claro que la parte de "servo" se relaciona con "servir".

De hecho, cuando Jean Joseph Léon Farcot utilizó el término *servomoteur* en 1868 en referencia al motor de un barco, que en inglés se tradujo como "motor esclavo", en referencia al hecho de que el servomotor replica los movimientos de un controlador. El libro de Farcot "*Le Servo-Moteur Moteur ou asservi*",

publicado en 1873, utilizó *asservi*, que significa "servil" o "esclavos", como sinónimo.

En la década de los 1860, el ingeniero francés Jean Joseph León Farcot, tras añadir numerosos perfeccionamientos a la máquina de vapor o regulador de Watt, diseña un regulador centrífugo de alta sensibilidad cuya señal de salida era suficiente para comandar un pequeño cilindro de doble pistón que inyectaba vapor a una de las dos caras del pistón de otro cilindro de potencia de diámetro mucho mayor. El factor de amplificación era proporcional a la relación de áreas de los cilindros. Farcot en su patente [Farcot 1868] hace una comparación entre su invento, el servomotor y el jinete de un caballo [3]:

"El jinete puede dirigir los músculos del caballo con pequeños movimientos de sus manos, busca que sus pequeñas intenciones se transformen en grandes fuerzas."

Farcot denominó su patente como "*Servomoteur, ou moteur asservi*" y de aquí se origina el término servomotor, como ya se ha comentado anteriormente.

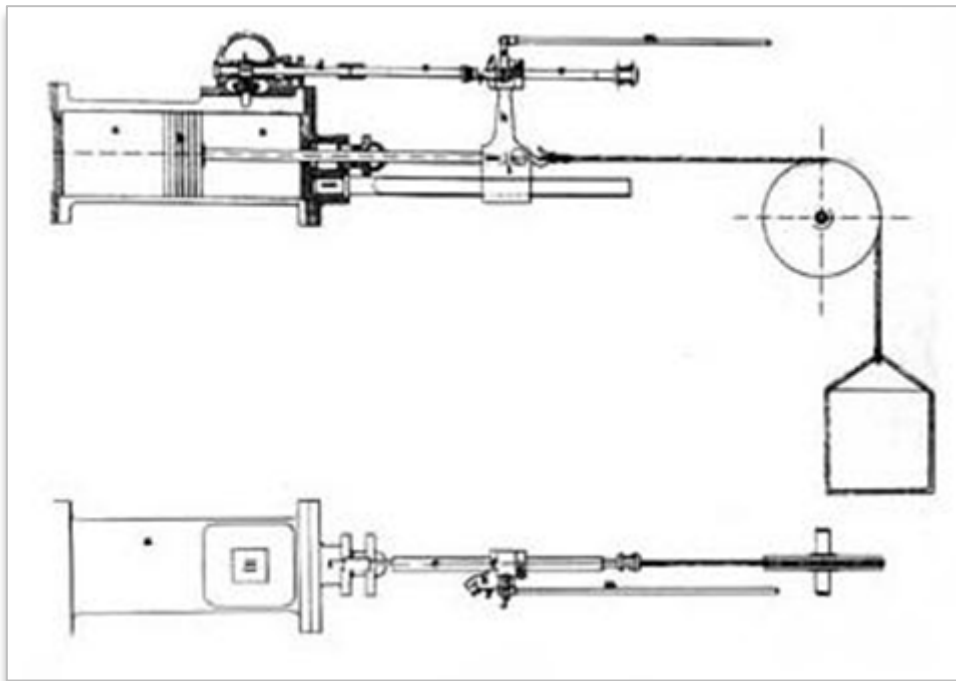


Figura 1. Servomotor de Farcot (1873).

En la actualidad tenemos distintas definiciones del término servomotor, las cuales coinciden en que se trata de un motor cuyo movimiento es controlado. Entre las definiciones que podemos encontrar, tenemos:

- La NEMA (Asociación Nacional de Manufactureros Eléctricos de EUA) define servomotor como:

“Motor electrónico que emplea retroalimentación y tiene el propósito de producir potencia mecánica para realizar el movimiento deseado de un servomecanismo”

- Según la RAE (Real Academia de la lengua Española), la definición de servomotor viene dada como:

“Sistema electromecánico que amplifica la potencia reguladora.”

- Otras definiciones a tener en cuenta:

“Un servomotor es un dispositivo que tiene la capacidad de estar en cualquier posición dentro de su rango de operación y permanecer estable en dicha posición.”

“Un servomotor es un motor eléctrico que tiene la capacidad de ser controlado tanto en su velocidad de operación como en su posición.”

CAPÍTULO I.

IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo está enmarcado dentro de un acuerdo de colaboración entre la empresa VARILAMP y la Universidad de Córdoba a través del Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica. VARILAMP es una empresa cordobesa dedicada a la fabricación de dispositivos electrónicos de iluminación (temporizadores y reguladores de luminosidad entre otros). Entre su maquinaria se cuenta con diversa maquinaria tal como máquinas “*pick & place*” para el ensamblado de placas de circuito impreso (PCB).

Los componentes de estas máquinas cuentan con más de 15 años de antigüedad y entre ellos se encuentra un kit de servopacks (servodrive junto con servomotor y encoder incluido). Este equipo forma parte del antiguo sistema de control de máquinas pick & place. Los sistemas de control habituales en este tipo de máquinas suelen ser dispositivos autónomos dedicados específicamente al control de movimiento (velocidad y posición) que otorgan rigidez y fiabilidad, sin embargo, también podemos encontrarnos con sistemas basados en autómatas o en tarjetas para PC, éstos últimos con una gran flexibilidad. El sistema de control que existía anteriormente y que en la actualidad sigue presente en varias máquinas de la empresa es, efectivamente, un sistema autónomo dedicado, cuya lógica de control y software resultan prácticamente desconocidos, por la antigüedad e inexistencia de documentación pertinente.

Ante esta situación, se nos plantea realizar un control de éste tipo de instrumental orientándolo hacia el campo didáctico. Se ha constatado la utilidad de un módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores, así como la creación de una interfaz hombre-máquina (HMI

SCADA) para el control y parametrización de los servomotores industriales. Con este trabajo se posibilitará el aprendizaje a los alumnos de carreras técnicas y el sector industrial, incluyendo un proceso real de ensamblado de componentes de una máquina “*pick & place*”.

Nuestro trabajo comienza pues, analizando completamente los aparejos de los que disponemos, determinando las limitaciones existentes y las especificaciones que se ha de cumplir, que se detallarán más adelante.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es estrechar la relación entre el estudiante de enseñanzas técnicas y el sector industrial. El presente trabajo posibilitará este hecho realizando una aplicación SCADA para el control y parametrización de un elemento fácil de encontrar en cualquier industrial, el servomotor. A través de una interfaz hombre-máquina, se pretende que el alumno se familiarice con este tipo de instrumentación presente en el día a día de cualquier aplicación industrial. Se antoja esencial que el alumno de enseñanzas técnicas haya manipulado elementos del sector industrial tal como un autómatas programable o un kit de servomotor (encoder, servodriver y servomotor), antes de dar el salto al mundo profesional. Éste sería el objetivo global del presente trabajo, y a continuación se detallan los distintos objetivos que se irán desarrollando a lo largo del proyecto para llegar a ofrecer al alumno una visión total, cómoda y atractiva del servomotor industrial:

- a) Implementar un módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores.
- b) Aprendizaje del método de control de servomotores basados en trenes de pulsos para obtener el sentido de giro y velocidad deseada en los mismos, así como comprobar el funcionamiento del lazo de control cerrado que compone un servomotor al estar compuesto de servomotor, servodriver y encoder.
- c) Desarrollar las aplicaciones básicas de control de posición, movimiento y velocidad de los servomotores en el módulo de entrenamiento para realizar guías de procedimiento.
- d) Estudio y adaptación de señales de cada uno e los dispositivos que componen el módulo de pruebas (interconexión de los distintos módulos del PLC, conexionado de los módulos del PLC con elementos externos a

éste tales como sensores y actuadores, conexionado PLC-SERVODRIVER, conexionado SERVODRIVER-MOTOR...). Definir la adaptación de señales entre distintos elementos del módulo de pruebas, que será uno de los puntos más importantes, puesto que en la industria la mayoría de elementos que tenemos que conectar entre sí funcionan a distintos niveles de corriente y tensión, por lo que hay que recurrir a circuitos de adaptación para compatibilizarlos.

- e) Manejo de un PLC industrial de la marca OMRON (aprendizaje y uso de su lenguaje de programación para el control de dichos servomotores).
- f) Aplicación a un caso práctico mediante la monitorización de un proceso industrial real, como por ejemplo, el control de una máquina ensambladora de componentes “*pick & place*”. Para ello se creará y manipulará una interfaz HMI SCADA para familiarizar al alumno con el control de servomotores en la industria.

1.3 ANTECEDENTES

Con lo que respecta a los antecedentes en nuestra Escuela, dentro del área de conocimiento de Tecnología Electrónica del Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica de la Universidad de Córdoba encontramos dos antecedentes de proyectos fin de carrera, uno de ellos realizado por los presentes autores de este trabajo, en los que se trata el control de distintos tipos de motores. Dichos proyectos son:

- a) **Proyecto fin de carrera “Automatización de una máquina ensambladora de componentes SMT (*pick & place*)”. López Morales, Javier y Morales Ceballos, José Antonio. 2013.**

Este proyecto surge como un proyecto de investigación, fruto de un convenio entre la empresa VARILAMP (empresa cordobesa situada en el polígono industrial Las Quemadas y dedicada a la fabricación de dispositivos de iluminación) y la Universidad de Córdoba a través del Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica. Este trabajo consistió en la reautomatización, remodelación y puesta en marcha de una máquina pick & place en desuso. Todos los objetivos se alcanzaron satisfactoriamente,

cumpliendo dicha máquina las exigencias mínimas de calidad y fiabilidad para la producción de PCBs.

b) Proyecto fin de carrera “Control de una máquina ensambladora de componentes SMT (*pick & place*). Sanz García, Carlos y Sanz García, Víctor. 2012.

Este proyecto surge como un proyecto de investigación, fruto de un convenio entre la empresa VARILAMP (empresa cordobesa situada en el polígono industrial Las Quemadas y dedicada a la fabricación de dispositivos de iluminación) y la Universidad de Córdoba a través del Departamento de Arquitectura de Computadores, Electrónica y Tecnología Electrónica. Este trabajo consistió en el desarrollo de un prototipo del sistema de control de una máquina “*pick & place*” en desuso, que en el caso de cumplir las exigencias mínimas de calidad y fiabilidad sustituiría por completo al sistema de control originario.

1.4 RESTRICCIONES

Como se ha comentado, disponemos de un servopack constituido por un servomotor (junto con encoder), servodrive y autómeta. Es muy importante conocer cada uno de estos elementos con detalle. Esto es, conocer y entender sus partes, especificaciones y funcionamiento.

El servodrive correspondiente se comunica con el controlador primario mediante un tren de pulsos, cuyo número y frecuencia determinan la posición y velocidad de cada uno de los ejes. Se ha decidido montar para nuestro sistema un controlador basado en PLC. El PLC dispone de un módulo específico de control de movimiento por pulsos, que es el encargado de dar las órdenes adecuadas al servodrive correspondiente. Por tanto, el sistema quedaría según el siguiente esquema:

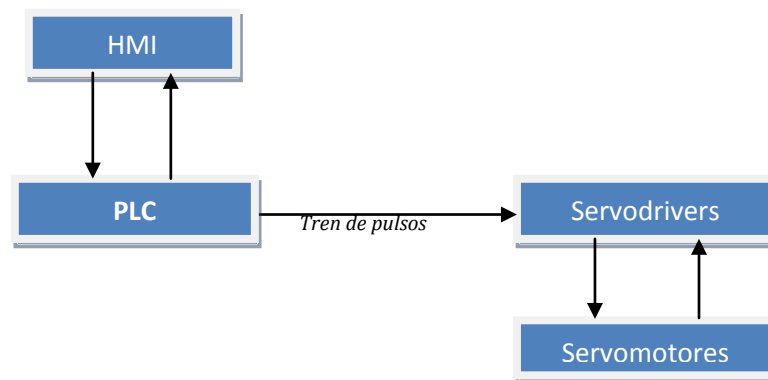


Figura 2. Esquema del sistema.

1.4.1 SERVODRIVE

El servodrive que disponemos (SGD-08AP) de la marca Yaskawa, dispone de un par de entradas de señales que permiten el control por uno de estos tres métodos:

Método	Señal 1	Señal 2	Descripción
1	Pulsos	Signo	La primera señal determina la posición por el nº de pulsos introducidos, mientras que la segunda determina el sentido de giro del servomotor (avance o retroceso).
2	Fase A	Fase B	Ambas señales de pulsos mantienen un desfase constante de 90°. El sentido de giro lo determina el desfase de las señales. El sentido será el de avance si la fase B adelanta a la A, y de retroceso si la fase A adelanta a la B.
3	CW	CCW	Ambas señales determinan la posición por el nº de pulsos introducidos. El sentido de giro vendrá determinado por el uso de una u otra señal. Para el avance del motor se usará la señal CW y para el retroceso CCW.

Tabla 1. Métodos de control.

Estas entradas trabajan con señales de 5 V (line driver), ó con 5 ó 12 V (colector abierto) a una frecuencia máxima de 450000 pulsos por segundo (450 Kpps) [12]

La forma de onda de las señales de pulsos para cada uno de los tres métodos se muestra en las siguientes figuras:

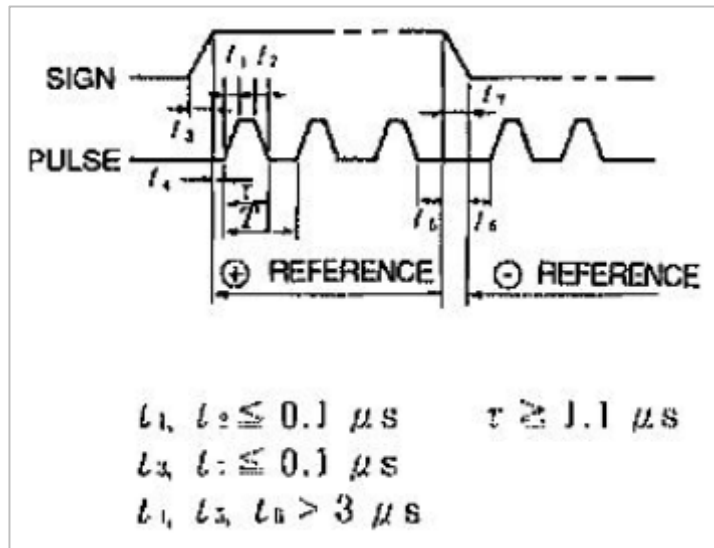


Figura 3. Método 1.

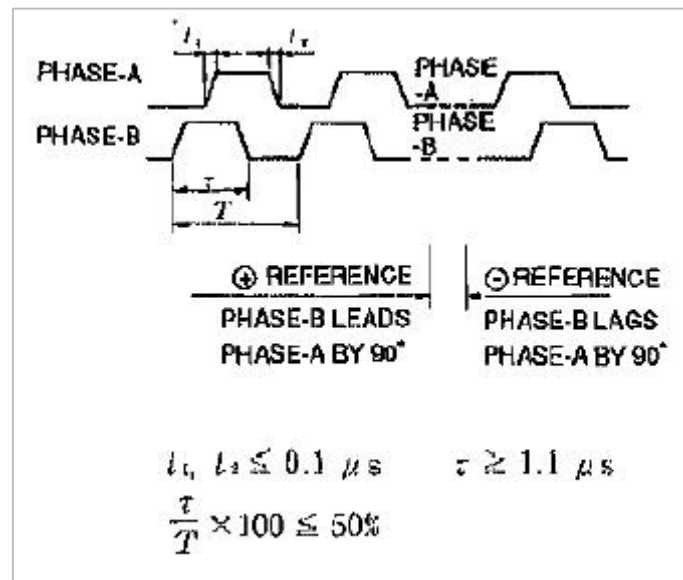


Figura 4. Método 2.

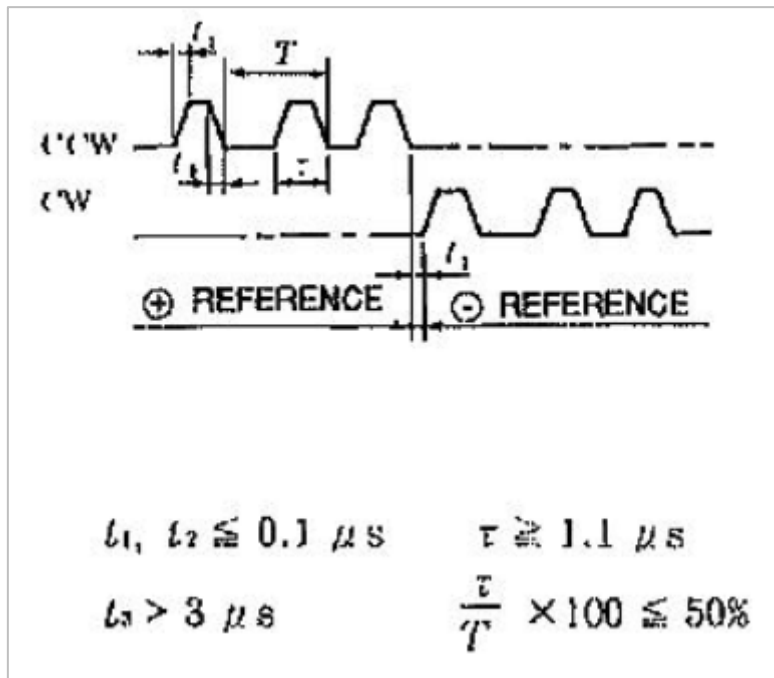


Figura 5. Método 3.

Además de las entradas de pulsos, los servodrive cuentan también con otras entradas y salidas importantes, como son:

- Entrada de reseteo de contador de errores (CLEAR).
- Salida de posición completa (COIN).

1.4.2 SERVOMOTORES

Aunque el controlador sólo se comunica directamente con el servodrive, y éste gobierna el servomotor, es interesante conocer alguna de sus características más importantes.

El servomotor Yaskawa presente en nuestro módulo de entrenamiento (SGM-08A) de 750 W, cuenta con un encoder incremental de 2048 pulsos por vuelta sin frenos dinámicos [12].

1.4.3 PLC

Como ya se ha comentado, nuestro sistema estará basado en un controlador basado en PLC. El PLC del que disponemos es un autómata OMRON CJ2M. Éste autómata dispone de un módulo de pulsos (MD211), es decir, un módulo específico de control de movimiento por pulsos que será el encargado de dar las órdenes adecuadas al servodrive para conseguir los movimiento deseados en los servomotores.

1.4.4 PC

Es el encargado de ejecutar el sistema de supervisión y control y de proporcionar una interfaz gráfica para el usuario.

Dada su importancia, conviene conocer sus principales características:

- CPU: Intel Core i5-2430M a 2.40 GHz (4 CPUs)
- Memoria RAM: 4 GB
- Disco duro: 500 GB
- Puertos: 3 puertos USB
- Sistema operativo: Windows 7 Home Premium 64 bits

1.5 PARTES DEL PROYECTO

El presente proyecto estará dividido en 3 partes bien diferenciadas, las cuales detallaremos a continuación:

- **Control de posición y velocidad de los servomotores a través de un PLC.**
En esta primera parte, se tratará en exclusiva el estudio de la parte de control del proyecto. Se estudiará, evaluará y justificará el tipo de control usado para el manejo de los servomotores.
- **Supervisión y estudio de las distintas curvas de funcionamiento de los servomotores.**
Una vez realizada la parte de control, el siguiente paso será ver la respuesta que tienen los servomotores ante este tipo de control. Esta

respuesta la podremos observar mediante distintas curvas de aceleración y deceleración, y se observarán gráficamente las señales de pulsos.

- **Monitorización de un proceso industrial real (máquina “*pick & place*” de ensamblado de componentes SMD).**

Por último, para concluir y afianzar la relación alumno-industria, objeto principal del proyecto, se realizará la simulación de un proceso industrial muy común, como el ensamblado de componentes SMD; este proceso está basado en un robot tipo cartesiano de 2 ejes, ya explicado anteriormente.

1.6 FASES DE TRABAJO

Una vez definidas las distintas partes del proyecto, para realizar el proyecto de una manera ordenada y coherente, se ha dividido el trabajo en varias fases. En el siguiente diagrama se muestra el orden que se ha seguido mediante el transcurso del mismo:

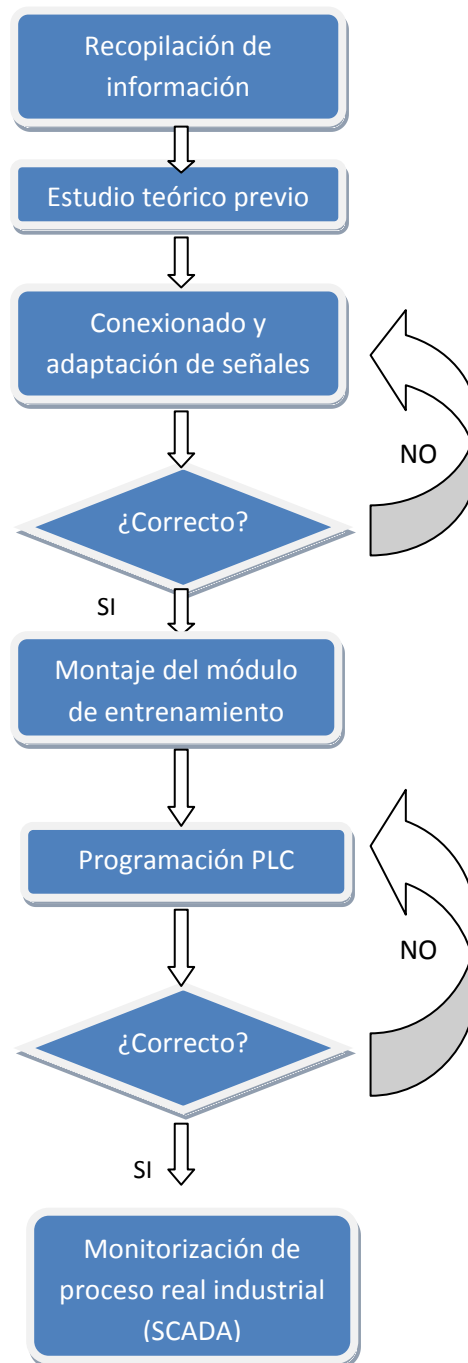


Figura 6. Fases de trabajo.

En primer lugar y como es lógico, se recabó toda la información necesaria acerca de este tipo de instrumental, los servomotores, a través de manuales y referencias. También se recabó información acerca de las diferentes soluciones de control de movimiento, centrándonos en nuestro tipo de control de servomotores y software de supervisión y control adecuado para ello.

A continuación, se realizó un estudio completo del sistema de control y de los recursos materiales de los que disponíamos, esto es, hojas de características, especificaciones, lenguajes de programación, etc. Lo mismo se hizo con el software *Cx_Programmer* (software de programación para el autómata OMRON) y el *Cx-Supervisor*, (software dedicado a todos los procesos relacionados con el control de máquinas y PC). Adquiridos los conocimientos básicos, resultó mucho más fácil y rápido el uso del software necesario para la realización del proyecto.

El siguiente paso sería realizar el conexionado y adaptación de las señales de todos los elementos del banco de pruebas, tales como: el conexionado entre los distintos módulos del PLC, el conexionado del PLC y los distintos sensores y/o actuadores, el conexionado entre el PLC y el servodrives, el conexionado entre el servodrive y el servomotor, etc.

Una vez realizado el conexionado de los componentes y verificado éste, pasamos al montaje del módulo de entrenamiento, es decir, una maqueta en la que se pueda estar en contacto con los motores los cuales se van a controlar y poder visualizar, a su vez, el funcionamiento de éstos en distintos ensayos.

El siguiente paso, correspondería a la programación del autómata programable. En este apartado, se crearán distintos programas con el fin de poner a prueba a los motores en distintas situaciones que puedan darse en su funcionamiento.

Por último, se procederá a la monitorización y simulación de un proceso real industrial. Se realizará una aplicación SCADA para simular un robot cartesiano utilizado en el proceso de ensamblado de componentes SMT en cualquier industria.

CAPÍTULO II.

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

2.1 TÉCNICAS DE POSICIONAMIENTO

Para el posicionamiento de piezas suele recurrirse a sistemas de “tomar y colocar”, denominados generalmente con la expresión inglesa: “*pick & place*”. Estos sistemas se encargan principalmente de manipular piezas durante los procesos de fabricación o de montaje de máquinas o aparatos de diversa índole. En consecuencia, no suelen utilizarse para la manipulación de herramientas en los procesos industriales. La base de estos sistemas *pick & place* suelen ser los robots cartesianos o scara descritos anteriormente; robots industriales cuyos ejes principales de control son lineales (se mueven en línea recta en lugar de rotar) y forman ángulos rectos unos respecto de los otros. La aplicación más extendida para este tipo de robots es la máquina de control numérico (CN), como es el caso.

Como sistemas de control, suele recurrirse a uno de estos dos tipos de sistemas:

- Sistema de control (en bucle abierto).
- Sistema de regulación (en bucle cerrado).

Un eje controlado con un sistema de control en bucle abierto, ejecuta el movimiento según un recorrido o ángulo previamente definido, aunque sin verificar si efectivamente se alcanza la posición requerida. Si, por lo contrario, se dispone de un sistema de regulación, se efectúa continuamente una comparación entre el valor real y el valor programado. Cuando coinciden los dos valores, el eje se detiene [6].

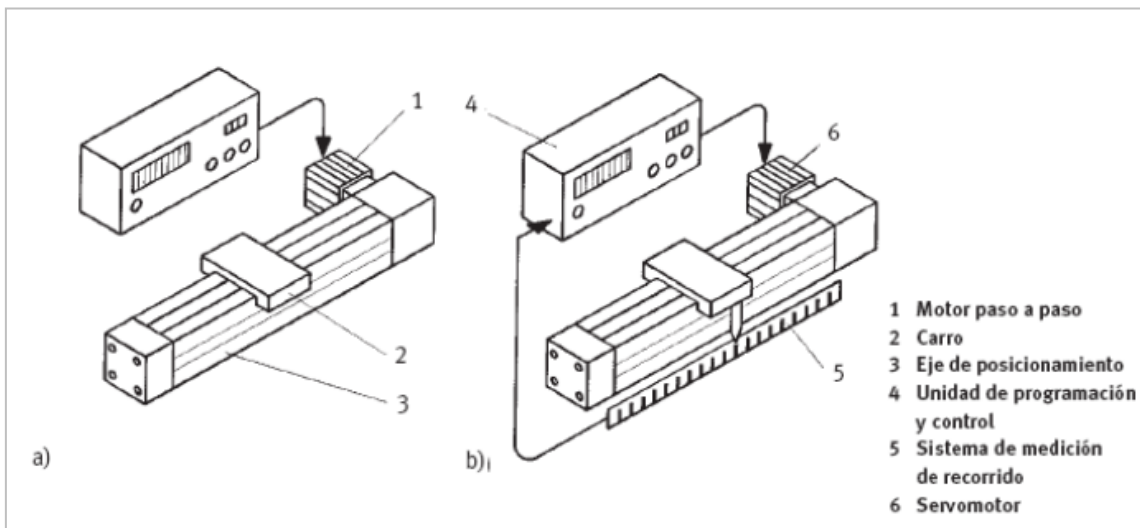


Figura 7. Técnicas de posicionamiento.

2.2 SERVOMOTOR

Los servomotores más utilizados actualmente en la industria son los motores de corriente alterna sin escobillas tipo *Brushless*. Básicamente están formados por un estator segmentado en el que el espacio relleno de cobre es casi el doble que en los motores tradicionales, esto permite desarrollar una mayor potencia con un menor volumen. Para compensar la mayor cantidad de hilo en las ranuras y su mayor generación de calor, el espacio libre del bobinado se rellena con resina conductora de calor. El rotor incorpora una serie de imanes permanentes contruidos con Nodimio-Hierro-Boro que proporcionan mayor densidad de flujo y, por lo tanto, mejor rendimiento y mayor par en menor tamaño.

El tiempo de posicionamiento se reduce gracias a la reducción de la inercia del rotor, lo que permite alcanzar altas velocidades en tiempos reducidos, y por otra parte, la posibilidad de hacer girar un motor con una velocidad superior a la nominal. Las características principales de este tipo de motores son:

- Par elevado.
- Fiabilidad de funcionamiento.
- Bajo mantenimiento.
- Gran exactitud en el control de velocidad y posición.

- Capacidad de velocidades muy altas.
- Pérdidas en el rotor muy bajas.
- Rotor con poca inercia.
- Construcción cerrada, útil para trabajar en ambientes sucios.
- Amplia gama de potencias (de 100 W a 300 KW).

Las principales ventajas del motor *Brushless* vienen dadas por las posibilidades que ofrece de controlar la velocidad y la posición, incluyendo unas respuestas muy rápidas a las señales de arranque, paro y variaciones sobre la marcha.

La posibilidad de construcción de servomotores de distintas formas (compactos, planos, rotor huevo, etc.) permite la adaptación de los mismos a diversas aplicaciones industriales. Los servomotores de estructura compacta, incorporan dentro de la misma un encoder absoluto, el cual suministra información del estado del proceso al controlador (servodrives). Los que trabajan en posición vertical incorporan un freno mecánico, el cual bloquea el eje en caso de falta de tensión para así evitar posibles caídas de piezas en caso de avería.

En el interior del servomotor se incluye un elemento para el control del mismo. Se trata de un captor angular de posición que suele ser un resolver o bien, el aparato más utilizado en la actualidad, el encoder, que puede ser incremental o absoluto. El incremental no distingue el sentido de giro, mientras que el absoluto sí (en un sentido incrementa el valor y en el otro decremента). El encoder está formado por un circuito electrónico en el que un diodo láser emite un haz de luz, el cual es interrumpido por las ranuras de una lámina metálica, dando lugar a una señal intermitente (es decir, cuenta el número de ranuras). Dentro de un mismo encoder puede haber varios diodos láser que dan lugar a combinaciones binarias y que proporcionan una mayor sensibilidad (se superan los 2000 pulsos por revolución) [7].

2.3 SERVODRIVE

Un servodrives es similar a un variador de velocidad diseñado específicamente para el control de servomotores. Utiliza un convertidor para la tensión de entrada y un inversor para la tensión de salida (aplicada al motor). La señal de salida es definida por el circuito de control (microprocesador) correspondiente. Mediante el servodrives se trabaja en lazo cerrado (realimentación), lo que

permite detectar los posibles “errores” en la actuación del motor y dar la oportuna orden de corrección del mismo [8].

El lazo de control puede ser de tres clases: posición, velocidad y par.

- Lazo de par. Asegura que se aplica al motor un determinado par.
- Lazo de velocidad. Asegura que el motor gira a una velocidad determinada.
- Lazo de posición. Asegura que la carga esté en una posición programada.

Los servodrives actuales vienen dotados de una serie de características orientadas a facilitar la labor del programador y aumentar el rendimiento [8]. Algunas de las más significativas son:

- Reducción del tiempo de cálculo de la CPU (posicionados más rápidos).
- Autoajuste Online. Se ajusta automáticamente a los movimientos de la máquina.
- Utilización de filtros de supresión de resonancia para contrarrestar el ruido de resonancia mecánica de alta frecuencia.
- Control de velocidad realimentado.
- Filtro de supresión de resonancia del eje.
- Selección del modo de control de velocidad proporcional/integral.
- Detección automática del tipo de motor.
- Posibilidad de manejo manual de los servomotores (función jog).
- Búsqueda de origen.
- Límite de par (para evitar sobrepasar).
- Procesamiento regenerativo (absorción de la energía regenerada al desacelerar).
- Limitador de desplazamiento por software. No son necesarios los limitadores mecánicos.

Un servodrive dispone normalmente de los siguientes conectores:

- Interface RS-232/485 para puesta en servicio y diagnósticos mediante PC.
- Interface de posicionamiento. Entradas/salidas de estado.
- Interface analógica. Valor actual de la posición.
- Interface de validación. Alimentación, parada, marcha.
- Bornas de conexión al servomotor.
- Bornas de conexión al encoder.

2.4 ENCODER

En el interior del servomotor se incluye un elemento para el control del mismo, es un captor angular de posición que suele ser un *resolver* o bien, el aparato más utilizado en la actualidad, el *encoder*.

El encoder está formado por un circuito electrónico, en el que un diodo láser emite un haz de luz, el cual es interrumpido por las ranuras de una lámina metálica, dando lugar a una señal intermitente (cuenta el número de ranuras). Dentro de un mismo encoder puede haber varios diodos láser que dan lugar a combinaciones de 0/1 (se puede utilizar código binario, gray) y que proporcionan una mayor sensibilidad (se superan los 2000 pulsos por revolución). Cada señal, mediante el cable conector correspondiente, llega al elemento de control para su procesamiento [8].

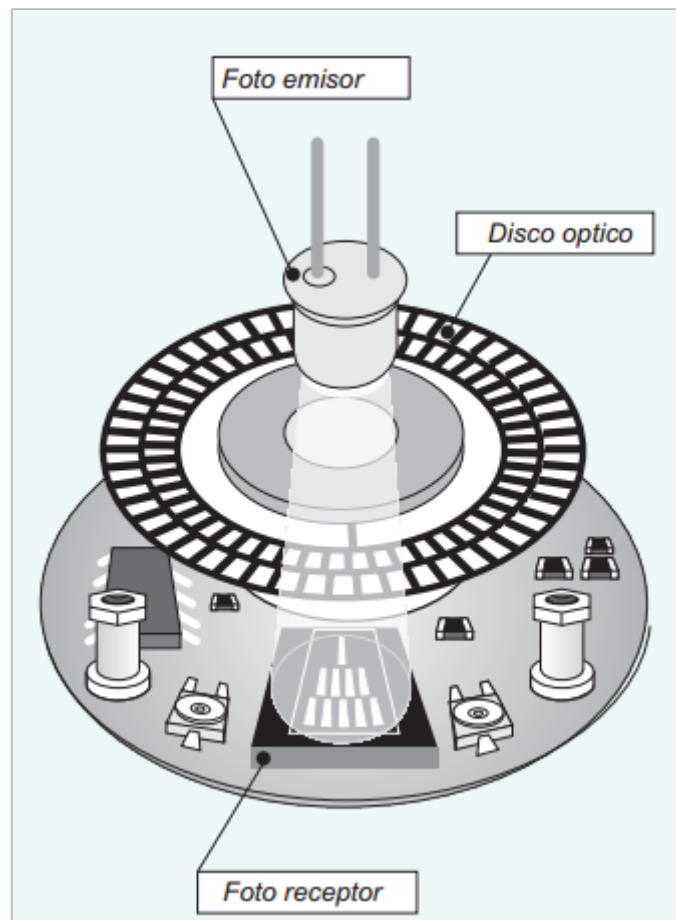


Figura 8. Interior de un encoder.

Principalmente, se pueden diferenciar dos tipos de encoder:

2.4.1 ENCODER INCREMENTAL

Este tipo de encoder proporciona normalmente dos formas de ondas cuadradas y desfasadas entre sí en 90° eléctricos, los cuales por lo general son “canal A” y “canal B”. Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación, mientras que si se capta también la señal “B” es posible discriminar el sentido de rotación en base a la secuencia de datos que producen ambas señales. Está disponible además otra señal llamada canal Z o Cero, que proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder. Esta señal se presenta bajo la forma de impulso cuadrado con fase y amplitud centrada en el canal A [8].

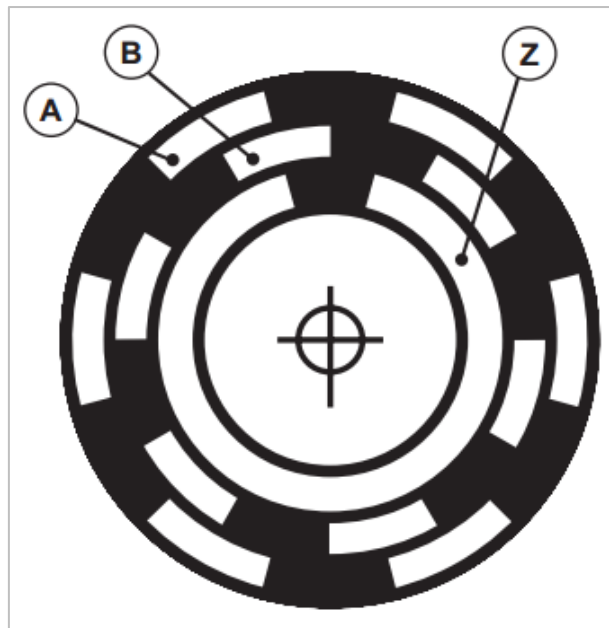


Figura 9. Representación de las señales incrementales A, B y Z en disco óptico.



Figura 10. Encoder incremental.

2.4.2 ENCODER ABSOLUTO

El principio de funcionamiento de un encoder absoluto es muy similar al de un encoder incremental en el que un disco que gira, con zonas transparentes y opacas interrumpe un haz de luz captado por fotorreceptores, luego éstos transforman los impulsos luminosos en impulsos eléctricos los cuales son tratados y transmitidos por la electrónica de salida.

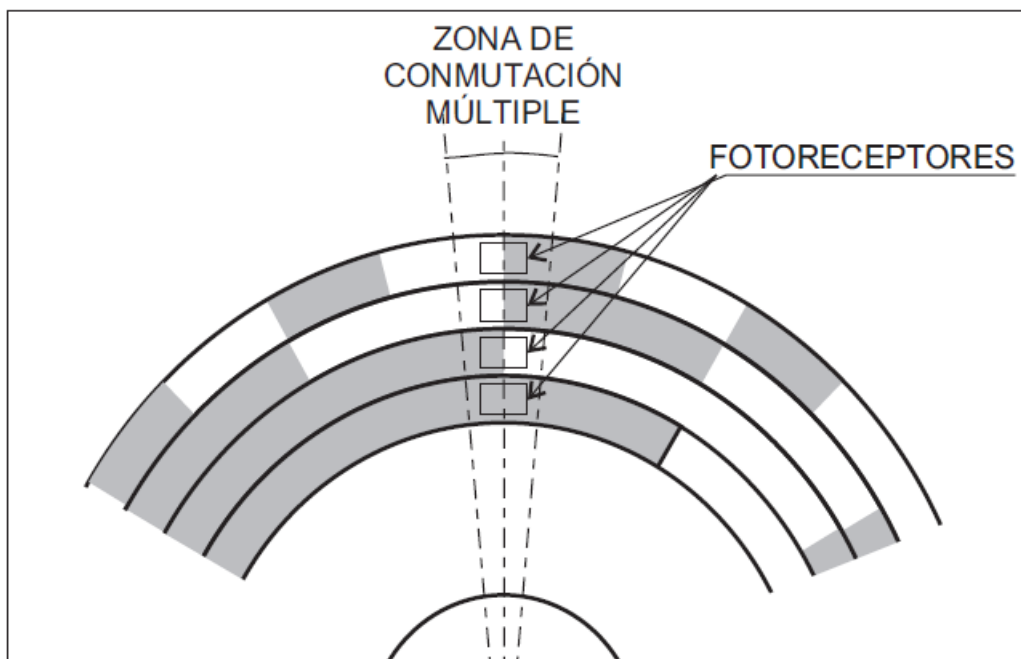


Figura 11. Encoder absoluto.

Respecto a los encoders incrementales, los encoders absolutos muestran importantes diferencias desde el punto de vista funcional. Mientras en los encoders incrementales la posición está determinada por el cómputo del número de impulsos con respecto a la marca de cero, en los encoders absolutos la posición queda determinada mediante la lectura del código de salida (código Gray, que se trata de un código binario), el cual es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta. Por consiguiente los encoders absolutos no pierden la posición real cuando se corta la alimentación (incluso en el caso de desplazamientos), hasta un nuevo encendido (gracias a una codificación directa en el disco), la posición está actualizada y disponible sin tener que efectuar, como en el caso de los encoder incrementales la búsqueda del punto de cero [8].

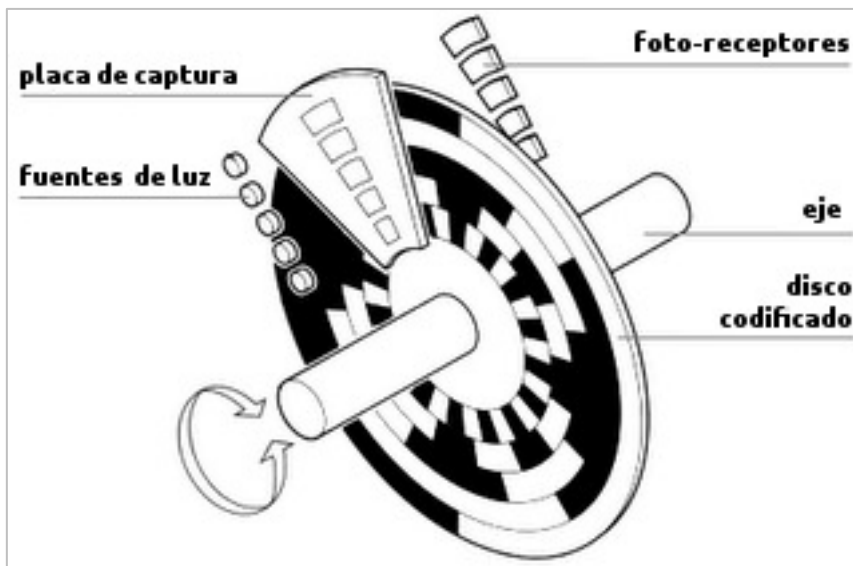


Figura 12. Encoder absoluto óptico.

2.5 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Los ejes de posicionamiento electromecánicos se caracterizan por tener, como mínimo, una cadena de acción en dos etapas con el fin de conseguir un movimiento lineal de determinadas características mediante un husillo o una correa dentada de movimiento continuo. Los sistemas de accionamiento por husillo y por cadena dentada son los más difundidos.

Los ejes de posicionamiento accionados por husillo se utilizan preferentemente cuando se exige la máxima precisión y cuando se necesitan elevadas fuerzas axiales durante el avance. Los ejes de accionamiento por correa dentada ofrecen ventajas cuando es necesario llegar con rapidez a determinadas posiciones recorriendo tramos más largos [6].

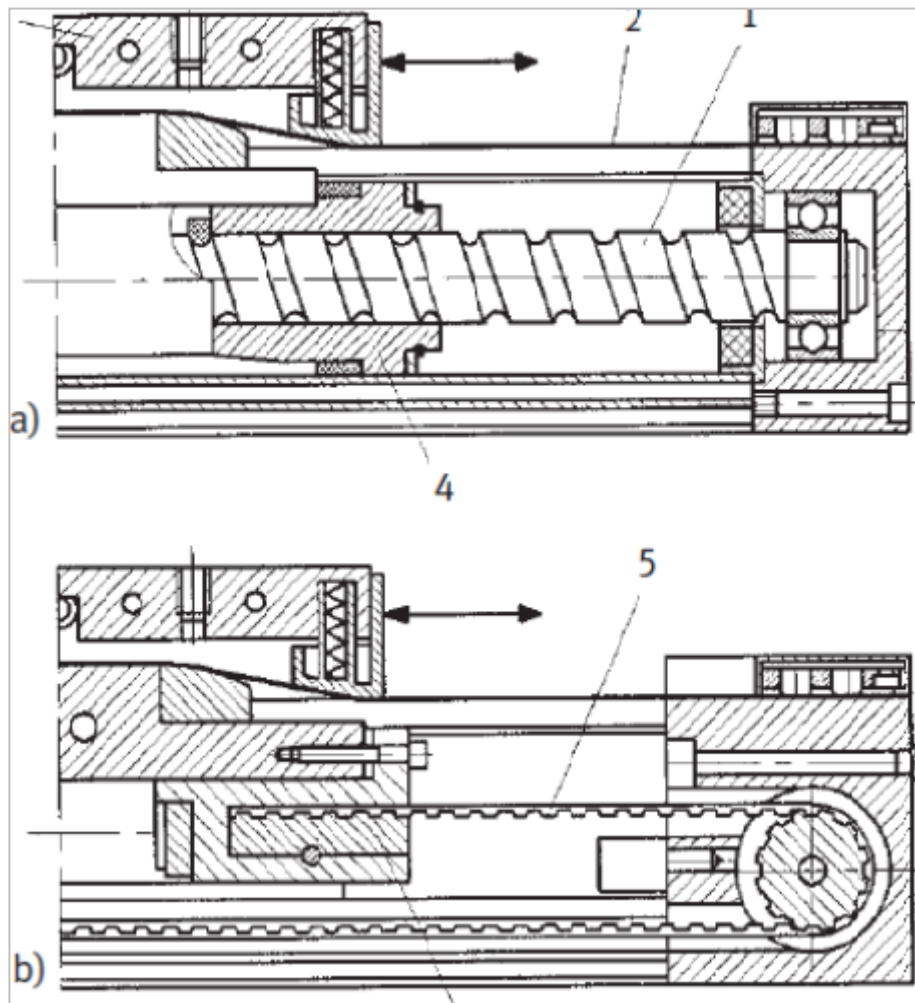


Figura 13. Transmisión de movimiento.

2.6 TIPOS DE SERVOMOTORES

Entre los tipos de servomotores más usados, podemos distinguir entre dos grandes grupos: *los servomotores de uso general* y *los servomotores industriales*.

2.6.1 SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC

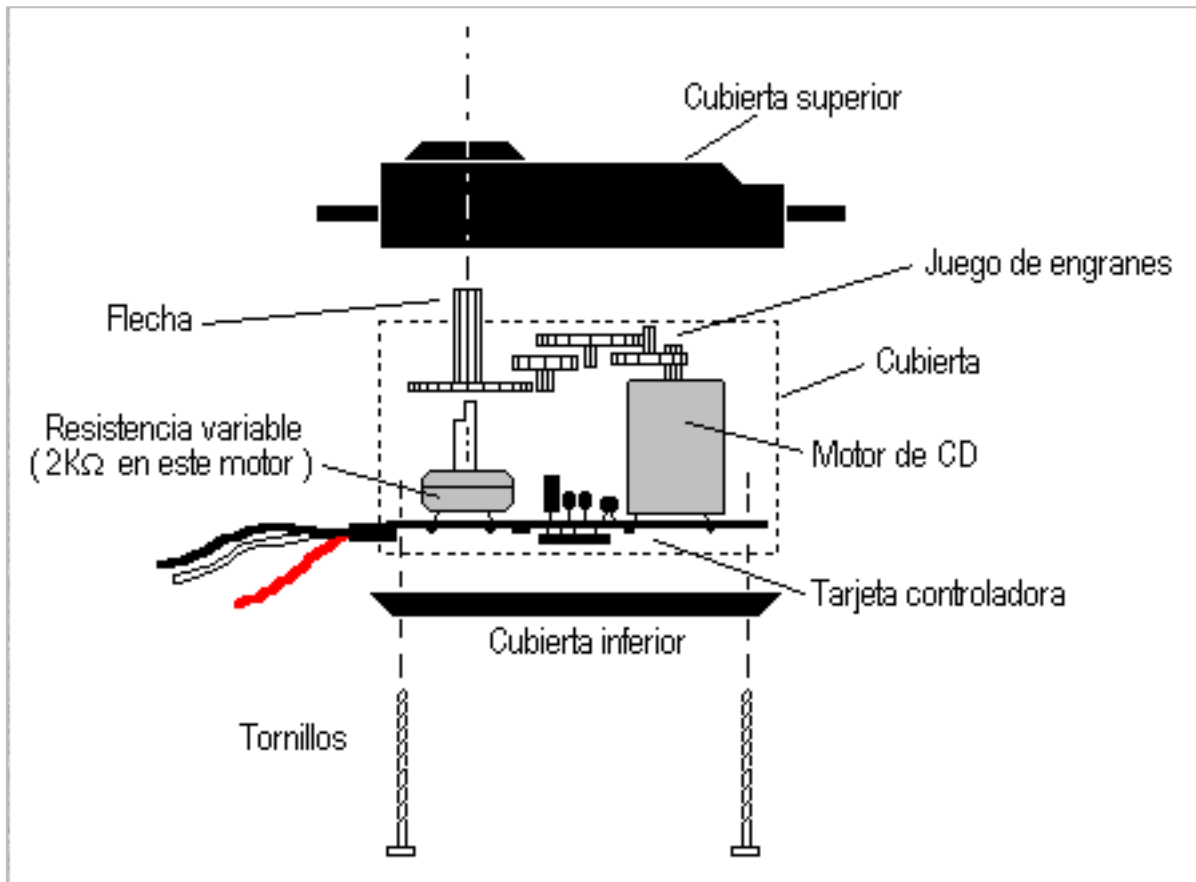


Figura 14. Estructura típica.

Las partes de las que consta dicho tipo de servomotor son:

- Motor de corriente continua

Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.

- Engranajes reductores

Se encargan de convertir gran parte de la velocidad de giro del motor de corriente continua en torque.

- Circuito de control

Este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos.

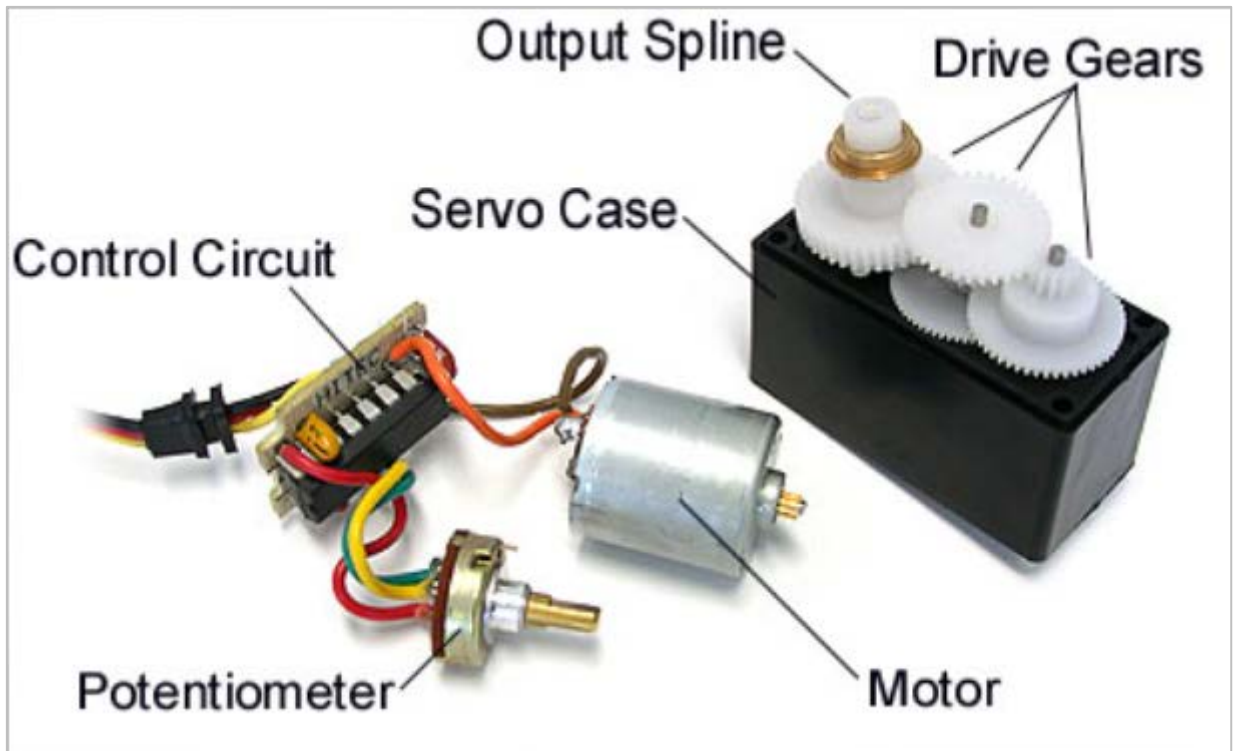


Figura 15. Servomotor.

Tiene además de los circuitos de control un potenciómetro conectado al eje central del motor. Este potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es correcto, el motor volverá a la dirección correcta, hasta llegar al ángulo que es correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente, en algunos llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante.

Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados. Un servo normal no es mecánicamente capaz de retornar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante.

Los servomotores tienen 3 terminales:

- Terminal positivo: Recibe la alimentación del motor (VDC).
- Terminal negativo: Referencia tierra del motor (0 voltios).
- Entrada de señal: Recibe la señal de control del motor.

Los colores del cable de cada terminal varían con cada fabricante: el cable del terminal positivo siempre es rojo; el del terminal negativo puede ser marrón o negro; y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo [4].

2.6.2 SERVOMOTORES INDUSTRIALES O DE IMANES PERMANENTES (O *BRUSHLESS*)

Esencialmente un motor *brushless* a imán permanente es una máquina sincrónica con la frecuencia de alimentación, capaz de desarrollar altos pares (hasta 3 o 4 veces su par nominal) en forma transitoria para oponerse a todo esfuerzo que trate de sacarla de sincronismo. La denominación *brushless* deviene del hecho de que no posee escobillas y es una forma de diferenciarlo de sus predecesores los servomotores a imán permanente alimentados con corriente continua.

En comparación con motores asíncronos de jaula de ardillas (que eroguen el mismo par /velocidad en su eje) la inercia de un servomotor *brushless* es sustancialmente menor. Ambas características: sobrepares importantes e inercias reducidas son características apreciadas y útiles para el control del movimiento, pues permiten rápidas aceleraciones y deceleraciones, así como control preciso de posición en altas velocidades.

Los servomotores más utilizados en la industria actualmente, son los motores de corriente alterna sin escobillas tipo *brushless*. Básicamente están formados por un estator segmentado en el que el espacio relleno de cobre es casi el doble que en los motores tradicionales, esto permite desarrollar una mayor potencia con un menor volumen.

Constructivamente el servomotor *brushless* posee un estator parecido al de un motor de jaula, con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido. El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño y puede clasificarse en cilíndricos o de polos salientes.

La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de estos motores debido a las altas fuerzas centrífugas a las que se encuentran sometidos durante los procesos de aceleración y frenado. Actualmente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tipos (atadura con fibra de vidrio, chavetado con diferentes materiales, etc.) con pegado utilizando adhesivos especiales.



Figura 16. Servomotor.

Los servomotores más utilizados en la industria actualmente, son los motores de corriente alterna sin escobillas tipo *brushless*. Básicamente están formados por un estator segmentado en el que el espacio relleno de cobre es casi el doble que en los motores tradicionales, esto permite desarrollar una mayor potencia con un menor volumen.

Constructivamente el servomotor *brushless* posee un estator parecido al de un motor de jaula, con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido. El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño y puede clasificarse en cilíndricos o de polos salientes.

La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de estos motores debido a las altas fuerzas centrífugas a las que se encuentran sometidos durante los procesos de aceleración y frenado. Actualmente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tipos (atadura con fibra de vidrio, chavetado con diferentes materiales, etc.) con pegado utilizando adhesivos especiales.

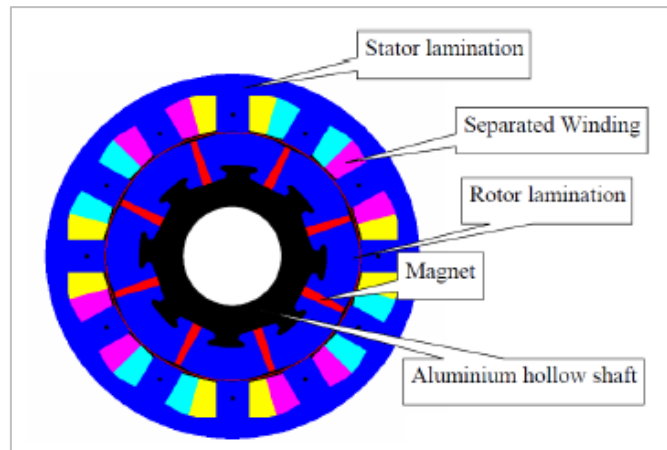


Figura 17. Imanes del servomotor.

Para compensar la mayor cantidad de hilo en las ranuras y su mayor generación de calor, el espacio libre del bobinado se rellena con resina conductora de calor.

El rotor incorpora una serie de imanes permanentes construidos con Neodimio-Hierro-Boro que proporcionan mayor densidad de flujo, para mejor rendimiento y obtención de mejor par en menor tamaño.

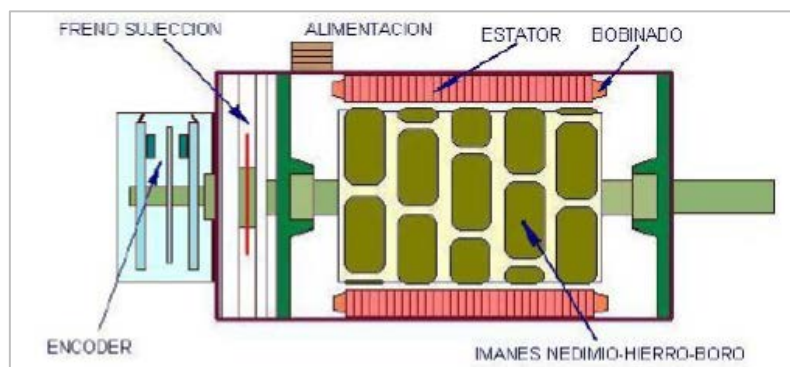


Figura 18. Partes del servomotor.

La posibilidad de construcción de servomotores de distintas formas (compactos, planos, rotor huevo, etc.) permite la adaptación de los mismos a diversas aplicaciones industriales.

Los servomotores de estructura compacta, incorporan dentro de la misma un encoder absoluto el cual suministra información del estado del proceso al controlador (servodriver). Los que trabajan en posición vertical, incorporan un freno mecánico el cual bloquea el eje en caso de falta de tensión para así evitar posibles caídas de piezas en caso de avería [4].



Figura 19. Tipos de servomotores.

2.7 TECNOLOGÍAS DE CONTROL

2.7.1 CONTROL DE LOS SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC

La modulación por anchura de pulso, PWM (*Pulse Width Modulation*), es una de los sistemas más empleados para el control de servos. Este sistema consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período (normalmente), con el objetivo de modificar la posición del servo según se desee.

Para la generación de una onda PWM en un microcontrolador, lo más habitual es usar un *timer* y un comparador (interrupciones asociadas), de modo que el microcontrolador quede libre para realizar otras tareas, y la generación de la señal sea automática y más efectiva. El mecanismo consiste en programar el *timer* con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de *overflow* del *timer*, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo. En la actualidad, muchos microcontroladores, como el 68HC08, disponen de hardware específico para realizar esta tarea, eso sí, consumiendo los recursos antes mencionados (*timer* y comparador) [5].

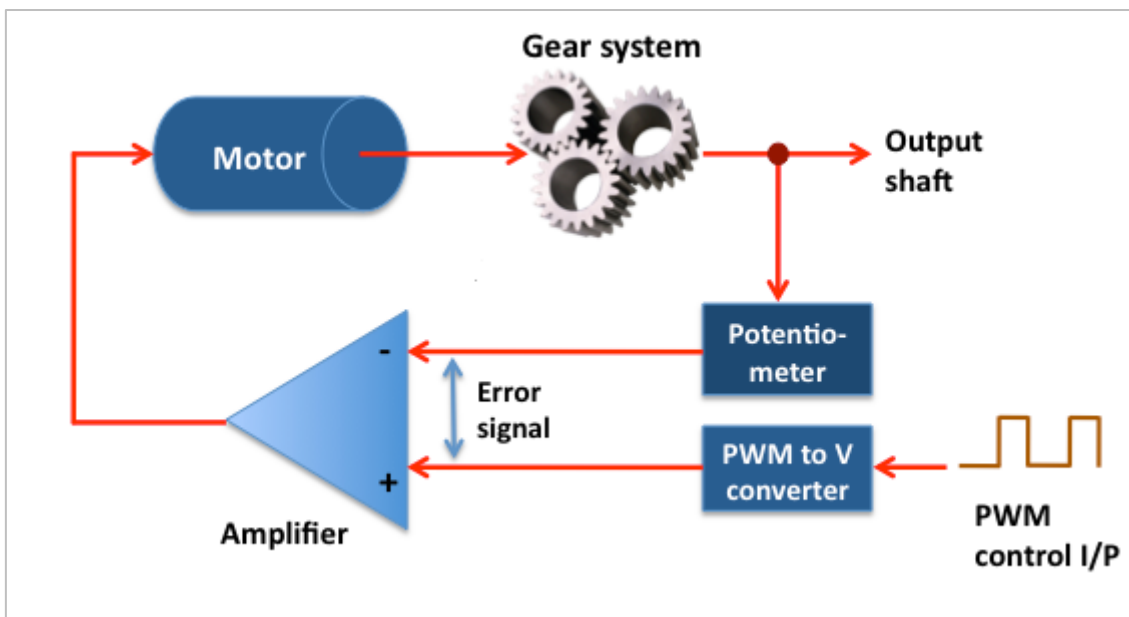


Figura 20. Esquema de control.

El sistema de control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que se corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende. Los valores más generales se corresponden con pulsos de entre 1 ms y 2 ms de anchura, que dejarían al motor en ambos extremos (0° y 180°). El valor 1.5 ms indicaría la posición central o neutra (90°), mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 1 ms o mayores de 2 ms, pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180° . Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos constructivos.

El período entre pulso y pulso (tiempo de OFF) no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. Se suelen emplear valores ~ 20 ms (entre 10 ms y 30 ms). Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del eje de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasará

a estado dormido entre pulsos. Esto provoca que se mueva con intervalos pequeños.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor que el máximo) entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo [5].

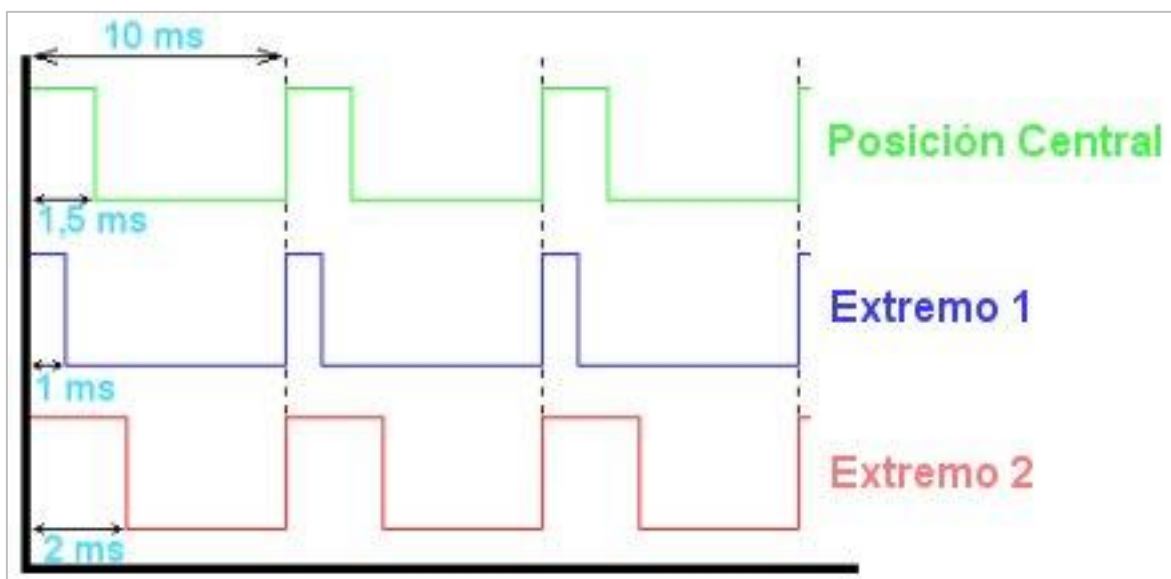


Figura 21. Diagrama de tiempo.

Entre las distintas posiciones angulares que se pueden conseguir en el servomotor con el control PWM, tenemos las siguientes:

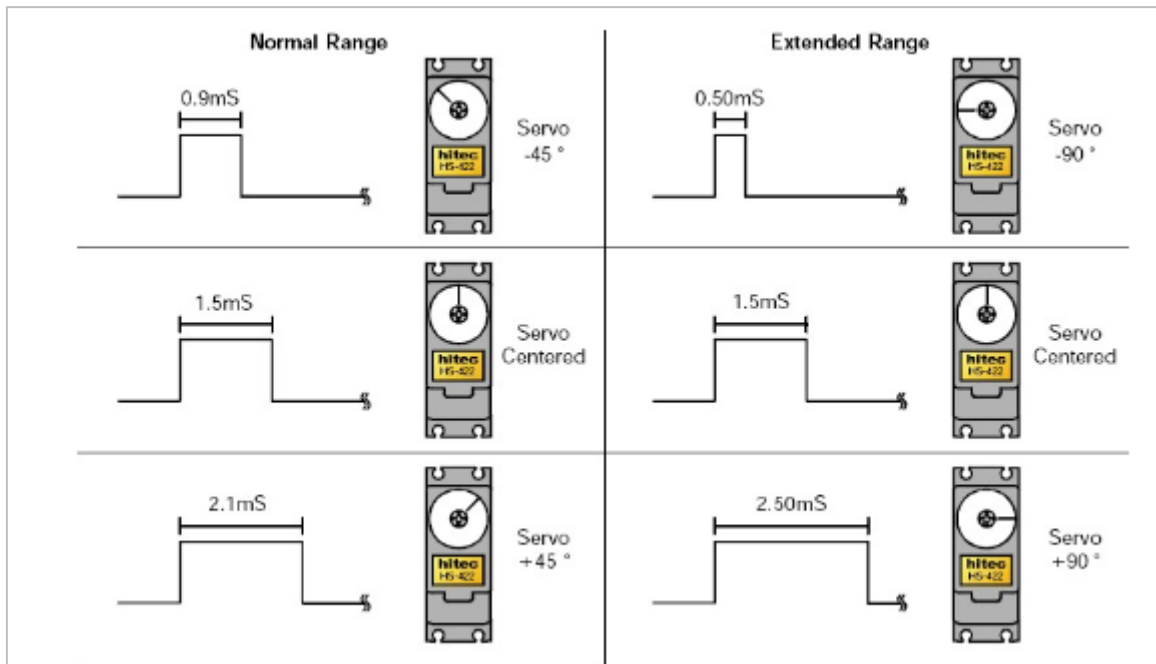


Figura 22. Posiciones angulares servomotor.

2.7.2 CONTROL DE LOS SERVOMOTORES DE USO INDUSTRIAL O DE IMANES PERMANENTES (O BRUSHLESS)

El control de los servomotores industriales puede ser realizado mediante un servodriver que funcione en circuito cerrado, o mediante una tarjeta posicionadora colocada en un PLC, para que funcione en circuito abierto.

2.7.2.1 Tarjeta de posición en PLC

Las tarjetas PCU (Position Control Units) trabajan con trenes de pulsos a su salida por lo que se pueden aplicar a servodrivs de entrada de pulsos ó a drivers de motores paso a paso. El lazo de control es abierto/semicerrado, es decir, la posición se controla por el número de pulsos de entrada al servodrivs y no por la realimentación a la tarjeta de posición.

La tarjeta de posicionamiento dispone de un conector para la alimentación, entradas y salidas. Las entradas son utilizadas para paros de emergencia, búsqueda de origen, interrupción, etc. Las salidas se conectan al servodriver para que éste actúe en función de las órdenes suministradas (mediante señales) por el PLC.

Al estar la tarjeta conectada al PLC, todo el control se realiza desde éste. El programa determina qué señales de salida de la tarjeta se deben de activar, y cómo se debe responder ante las distintas señales de entrada de la tarjeta [8].

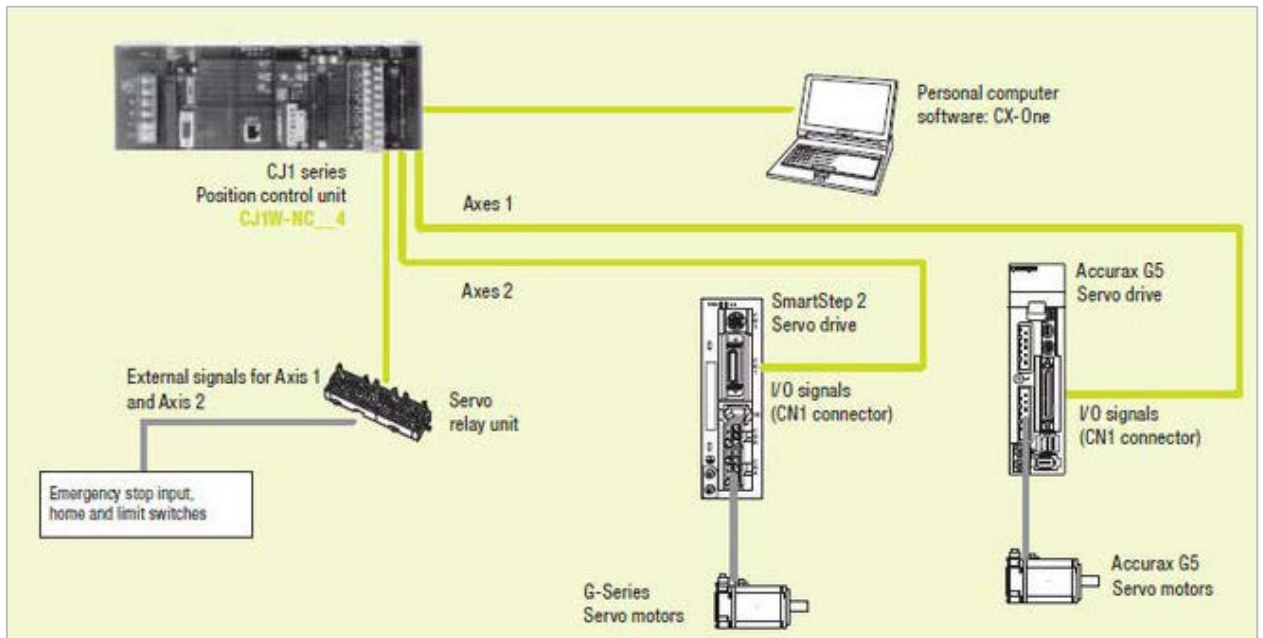


Figura 23. Esquema de control.

En la memoria de datos (DM) del PLC, se tiene guardada la información relativa al funcionamiento del servomotor (aceleraciones, tiempos de rampa, tipo de control, etc.).

Las características principales de las tarjetas posicionadoras son:

- Control de hasta 4 ejes en una misma tarjeta (32 ejes máximo por PLC).
- Salida de pulsos adelante/atrás.
- Alta velocidad de respuesta ante el PLC
- Datos de posición, velocidad y configuración en la memoria de la propia tarjeta.
- Software de programación y monitorización propio
- 2 modos de operación:
 - Directa (posicionados directos desde la memoria del PLC)
 - De memoria (posicionados almacenados en la propia tarjeta)
- Varios tipos de posicionado, control de velocidad, terminal, automático, búsqueda y retorno a origen, cambio de posición, etc.

2.7.2.2 Servodrive

Un servodrive, como ya se ha comentado anteriormente, es como un variador de velocidad diseñado específicamente para el control de los servomotores. Utiliza un convertor para la tensión de entrada y un inversor para la tensión de salida (aplicada al motor). La señal de salida es definida por el circuito de control (microprocesador) correspondiente.

Mediante el servodriver se trabaja en lazo cerrado (realimentación), lo que permite detectar los posibles “errores” en la actuación del motor y dar la oportuna orden de corrección del mismo [8].

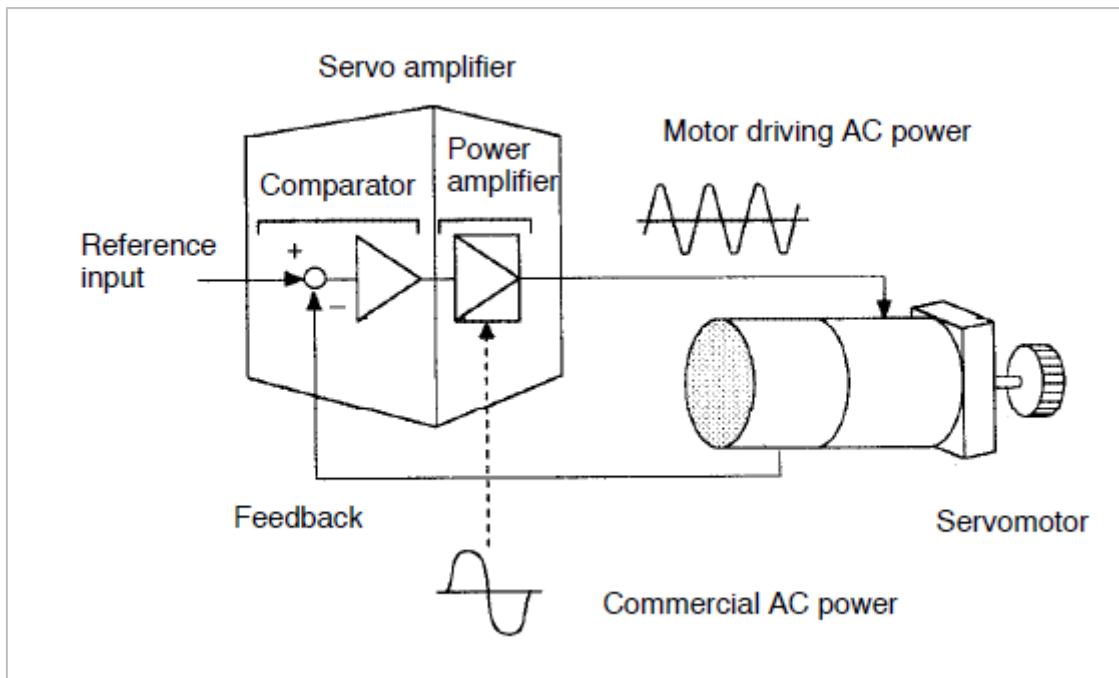


Figura 24. Esquema de control servodrive.

El lazo de control puede ser de tres clases: Posición, Velocidad y par.

- Lazo de par. Se utiliza para asegurar que se aplica al motor la correcta cantidad de par.
- Lazo de velocidad. Permite asegurar que el motor gira a la velocidad requerida. El control de velocidad y par en los servodrivers, se suele efectuar normalmente, variando la consigna analógica de velocidad y par a través de un potenciómetro, dentro de un rango de valores permitido.

- Lazo de posición. Nos asegura que la carga está en la posición programada. El control de posición en los servodrives se realiza mediante la entrada de trenes de pulsos, los cuales pueden ser de diferentes tipos:
 - Señales CW + CCW (Avance y Retroceso). Ambas señales determinan la posición por el número de pulsos introducidos. El sentido de giro vendrá determinado por el uso de una u otra señal. Para el avance del motor se usará la señal CW y para el retroceso CCW.

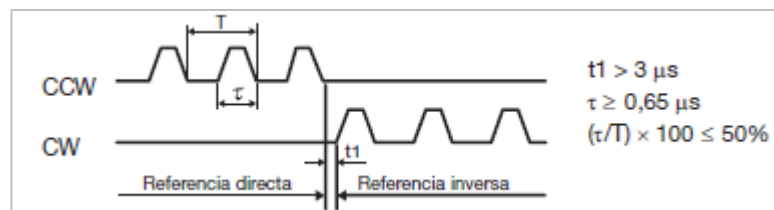


Figura 25. Diagrama señales CW/CCW.

- Señales Pulse + Sign (Pulso y dirección). La primera señal determina la posición por el nº de pulsos introducidos, mientras que la segunda determina el sentido de giro del servomotor (avance o retroceso).

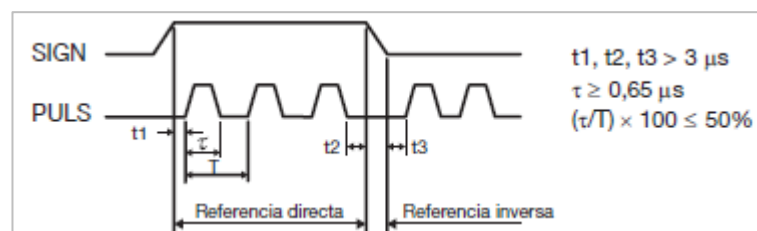


Figura 26. Diagrama señales Sign/Puls.

- Señales de fases A y B. Ambas señales de pulsos mantienen un desfase constante de 90°. El sentido de giro lo determina el desfase de las señales. El sentido será el de avance si la fase B adelanta a la A, y de retroceso si la fase A adelanta a la B.

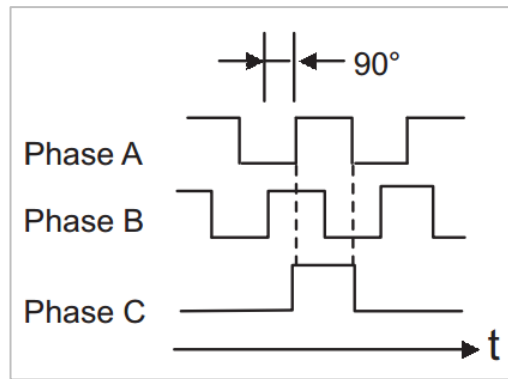


Figura 27. Diagrama señales Phase A/Phase B/Phase C.

La programación de un servodrive se realiza mediante el software suministrado por el fabricante. Son de fácil manejo, muy intuitivos, y permiten la configuración de todos los parámetros de control del servomotor.

2.7.2.3 Soluciones basadas en bus digital

Tanto en las soluciones basadas en PLC como en las soluciones *stand-alone*, el mercado prefiere olvidarse de las antiguas soluciones de pulsos y analógicas y muestra una importante tendencia hacia las soluciones basadas en bus digital. Son claras las ventajas que tiene el bus digital frente a las antiguas soluciones [9]:

- A través de un bus digital se puede hacer control de posición par y velocidad, cosa que no se podía hacer con una sola señal analógica o de pulsos.
- Con el bus digital se tiene acceso a todos los parámetros del sistema pues el bus aparte de llevar el peso del *motion control*, también puede monitorizar parámetros y el estado del servo.
- El bus ofrece una facilidad de cableado impensable con los sistemas antiguos y además ofrece una flexibilidad que antes era imposible.



Figura 28. Esquema de control mediante Bus.

Un ejemplo de bus de *motion control* de los más usados, en la actualidad, es un bus de alta velocidad de Omron llamado *Mechatrolink-II*.

2.8 VENTAJAS/INCONVENIENTES DE LOS SERVOMOTORES

La principal ventaja de un servomotor, sobre los motores tradicionales de corriente continua o alterna, es la incorporación en los mismos, de un sistema de retroalimentación. Esta información puede ser utilizada para detectar un movimiento no deseado, o para garantizar la exactitud del movimiento ordenado. Un sistema de control de motor que responde a este diseño, es conocido como sistema de "Lazo Cerrado" (*Closed Loop*). La retroalimentación es generalmente provista por un codificador de algún tipo [10].

Además, los motores servo, tienen un ciclo de vida más prolongado, que los típicos motores síncronos o asíncronos, a la hora de soportar el constante cambio de velocidad. Los servomotores también pueden actuar como un freno, por derivación de la electricidad generada, a partir del propio motor.

Un servomotor podría definirse genéricamente, como un motor utilizado para obtener una salida precisa y exacta en función del tiempo. Dicha salida está expresada habitualmente en términos de posición, velocidad y/o par.

2.8.1 SERVOMOTORES INDUSTRIALES O DE IMANES PERMANENTES (O *BRUSHLESS*)

En cuanto a las ventajas de los servomotores industriales cabe destacar que el tiempo de posicionamiento se reduce gracias a la reducción de la inercia del rotor lo que permite alcanzar altas velocidades en tiempos reducidos y por otra parte, la posibilidad de hacer girar un motor con una velocidad nominal de 3000 rpm a una velocidad de rotación máxima de 4500 rpm [10].

Las ventajas principales de este tipo de motores son:

- Prestaciones y par elevado. Los servomotores brindan una capacidad de sobrecarga de trabajo de entre 300 y 400 por ciento más, lo que quiere decir que puede trabajar tres veces más rápido y potente que su velocidad y torque nominal –valor constante al que puede trabajar el motor–, sin que sufra daño alguno.
- Permiten ahorro de energía. Esta ventaja se da gracias a la energía utilizada; la cantidad de voltaje aplicado al servomotor es proporcional a la distancia que éste necesita desplazarse. En este caso, si el eje requiere regresar una distancia amplia, el motor regresará a máxima velocidad, si sólo requiere regresar un pequeño trayecto, el motor correrá a velocidad lenta. A esto se le llama control proporcional, por lo que emplea la energía necesaria sin desperdicios.
- Bajo mantenimiento. Requieren menor mantenimiento porque es electrónico; a falta de fricción entre los elementos (al no tener escobilla dicho motor) el deterioro es bajo.
- Fiabilidad de funcionamiento y alta eficiencia (entre el 90% y 97%).
- Gran exactitud en el control de velocidad y posición al trabajar en lazo cerrado dicho sistema.
- Capacidad de conseguir velocidades muy altas.

- Pérdidas en el rotor muy bajas y menos calentamiento. Ya que al no tener escobillas dicho motor, no existen pérdidas por fricción de las escobillas debido al rozamiento con el colector.
- Rotor con poca inercia, debido a que su rotor es de imán permanente.
- Rotor más corto debido a que no hay que hacer conmutación.
- Buena relación potencia/peso y potencia/volumen.
- Construcción cerrada, útil para trabajar en ambientes sucios
- Amplia gama de potencias (de 100 w a 300 Kw)



Figura 29. Gama de servomotores.

Las principales ventajas del motor *Brushless* vienen dadas por las posibilidades que ofrece de controlar su velocidad y posicionamiento, incluyendo unas respuestas muy rápidas a las señales de arranque, paro y variaciones sobre la marcha.

Por otra parte, tendremos una serie de inconvenientes cuando utilicemos este tipo de instrumental:

- No se pueden conectar directamente a la red, necesitan un servodrive como intermediario.
- Fijación de los imanes del rotor (nuevos métodos: atadura con fibra de vidrio).
- Son relativamente caros.

2.8.2 SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC

En lo referente a los servomotores de uso general, contaremos con un amplio abanico de ventajas [10]:

- Tienen un ciclo de vida más prolongado.
- Pueden generar energía en el frenado.
- La eficiencia en aplicaciones donde son exigidos.
- Altos torques.
- Bajas corrientes de arranque.
- Bajo costo de operación y mantenimiento.
- Versatilidad en tamaño y baja inercia.
- Son mucho más económicos que los servomotores tipo *Brushless*.

Como inconvenientes en este tipo de servomotores podemos enumerar los siguientes:

- Necesitan obligatoriamente de un circuito de control que normalmente opera por PWM (Pulse Width Modulation), para poder ser controlados.
- Esta limitado por el circuito de control a únicamente variar su ángulo de rotación de 0° a 180°.
- Su construcción puede ser costosa.
- Poder controlar varias secuencias de posiciones, es difícil sin utilizar sistemas basados con micros.
- No es posible cambiar las características eléctricas del motor, por tanto no se puede cambiar la velocidad del mismo.

2.9 APLICACIONES DE LOS SERVOMOTORES

2.9.1 SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC

Las aplicaciones más comunes de los servomotores de uso general o de CC son [12]:

- Posicionamiento de superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones.
- Radio control, títeres y robótica.

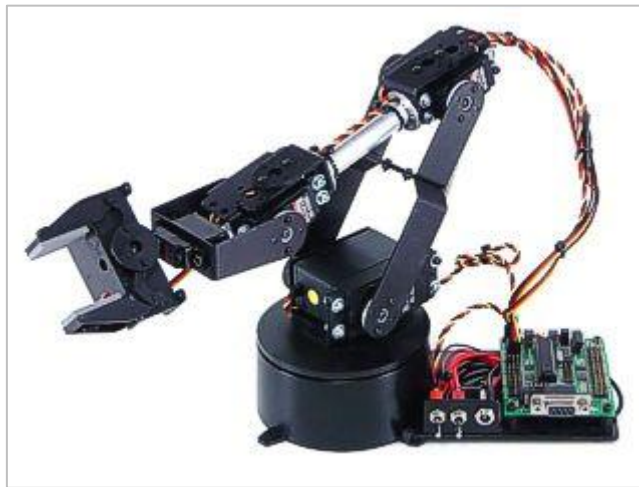


Figura 30. Robot compuesto por servomotores.

- Sistemas de aerodelismo, para controlar las superficies de mando, como los elevadores y los timones.

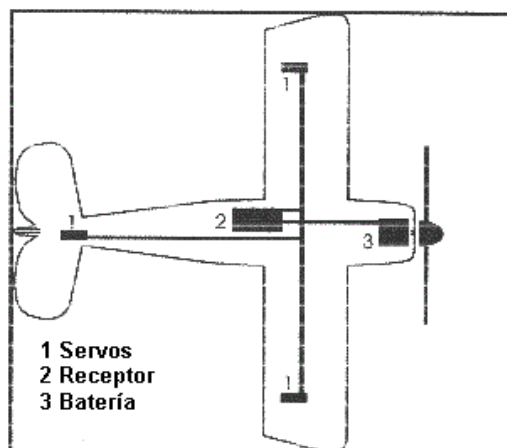


Figura 31. Avión compuesto por servomotores.

2.9.2 SERVOMOTORES INDUSTRIALES

Los accionamientos motorizados con servos proporcionan una muy buena operación a bajas velocidades hasta velocidad cero, con un rango de habilidad más alto. Con el dispositivo de retroalimentación adecuado, se obtiene también excelente precisión de posicionamiento. Gracias a estas habilidades, los servos se usan en aplicaciones como corte, impresión, etiquetado, empaçado, manipulación de alimentos, robótica y automatización de fábricas [11].

Un motor *Brushless* se puede utilizar para transmisión de movimiento lineal (aplicaciones de posicionamientos) o rotativo (aplicaciones de control de caudal). La mayor aplicación en la industria de máquina herramienta y de montaje es como transmisor de movimiento lineal.

Las unidades de desplazamiento lineal pueden ser de husillo a bolas (transmisión precisa pero limitada en su longitud), de cremallera (prestaciones similares al anterior) y por correa dentada (permite desplazamientos lineales más largos).

Los Robots tipo cartesiano o *scara*, están dejando paso en la industria a aplicaciones realizadas con servoaccionamientos, como es el caso de las máquinas CNC (fresadoras, pick & place, torno...) . El ahorro económico (muy importante) no es el único elemento influyente en la decisión de éstas sustituciones. Las grandes posibilidades que ofrecen de alto rendimiento, “facilidad” de control, fiabilidad en aplicaciones donde se requiera control de: par, velocidad y posición, etc. Han sido determinantes en esta evolución [20].

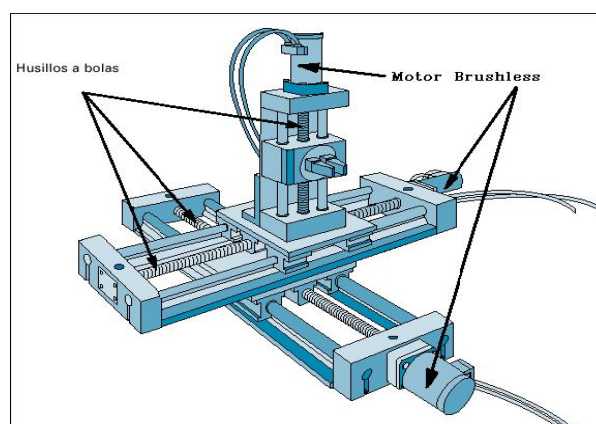


Figura 32. Robot cartesiano compuesto por servomotores.

La versatilidad que dan este tipo de accionamientos se traduce en multitud de aplicaciones del tipo: Desplazamientos, posicionamientos, transporte, giro, regulaciones de caudal, máquinas herramientas de todo tipo, manipulaciones, maquinaria industrial, etc.

A continuación se muestran gráficamente algunas aplicaciones de dicho servomotores industriales:

- Control para el doblado de cajas de cartón

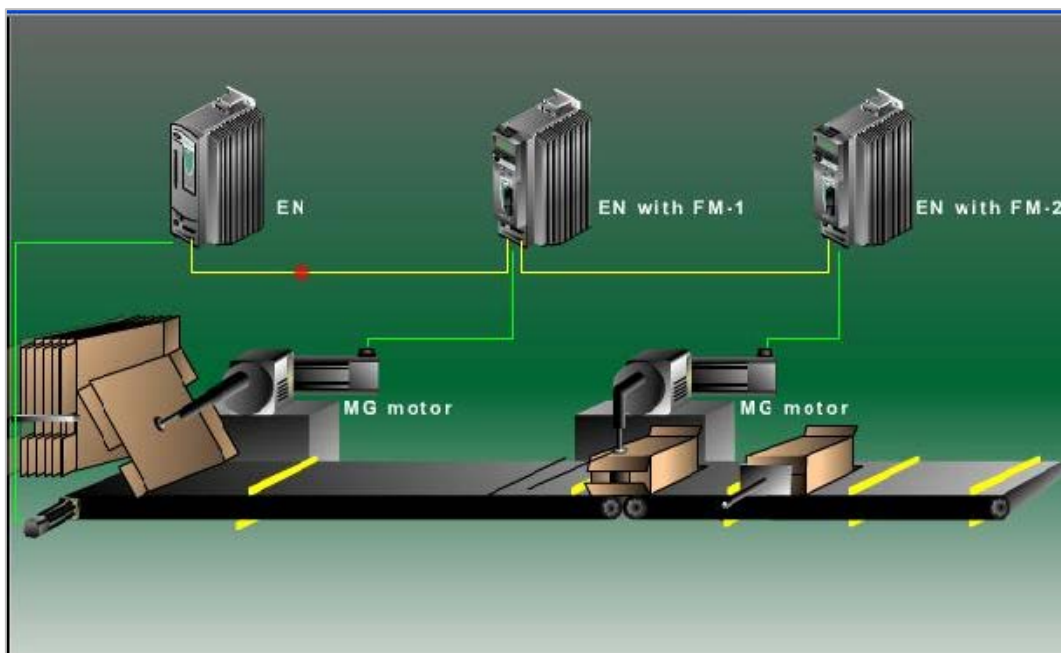


Figura 33. Esquema de control para el doblado de cajas de cartón.

- Control de envasado de productos alimenticios

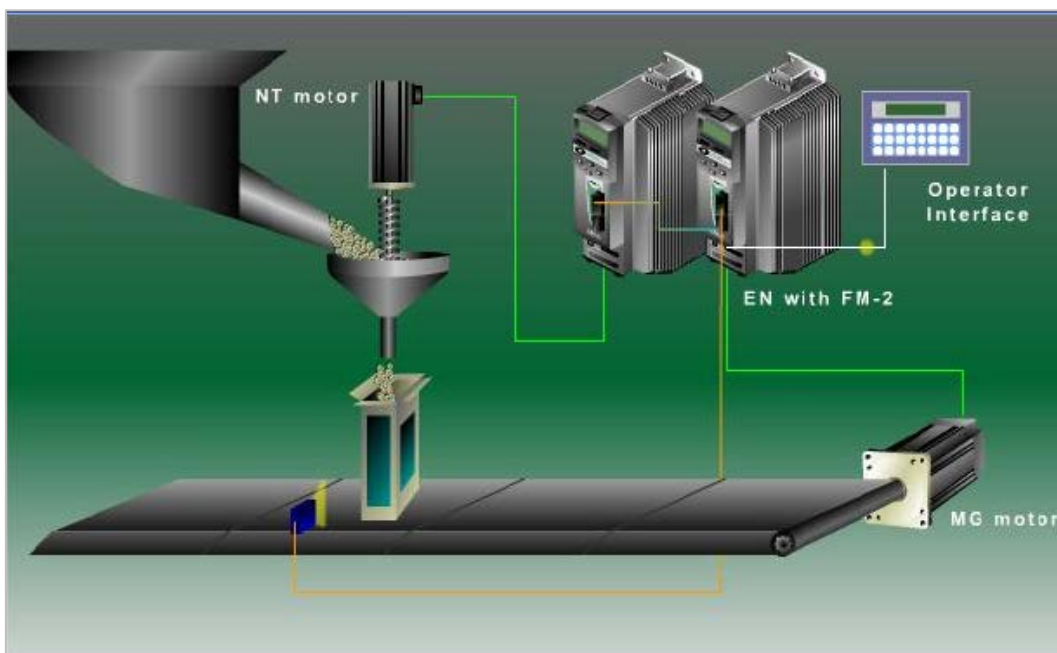


Figura 34. Esquema de control para el envasado de productos alimenticios.

- Control para el bobinado de carretes de hilo

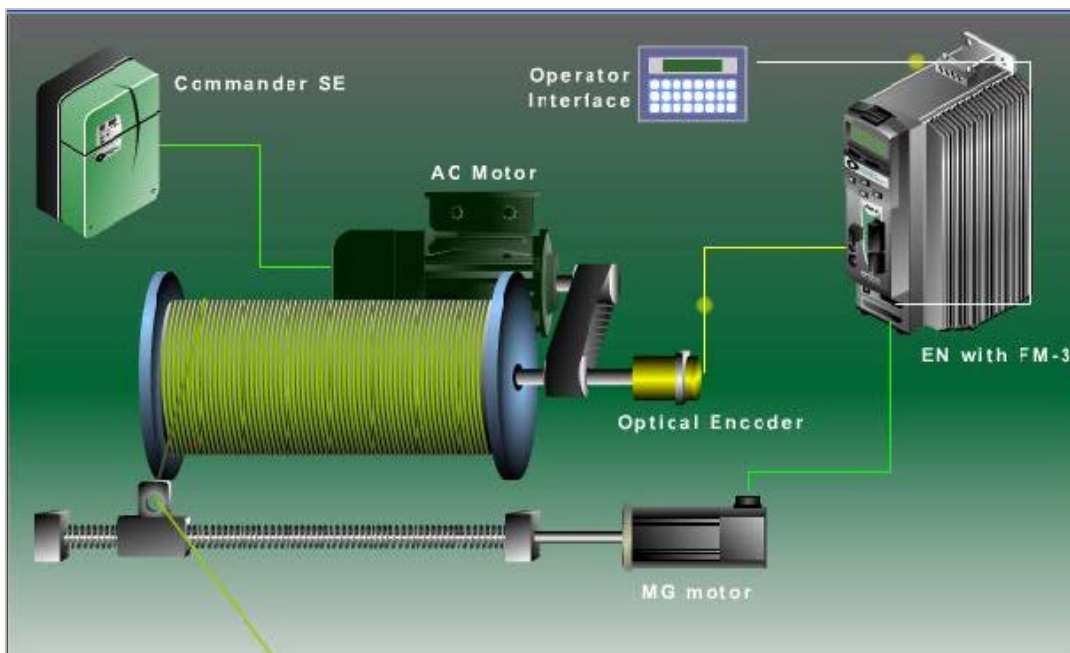


Figura 35. Esquema de control para el bobinado de carretes de hilo.

- Control para el llenado de garrafas .

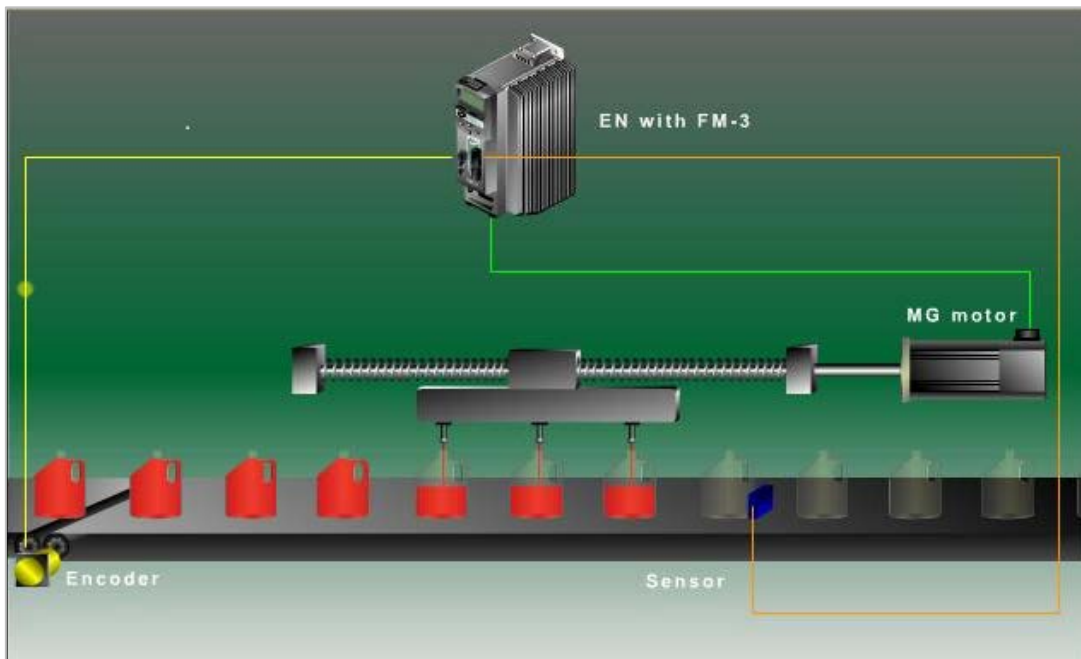


Figura 36. Esquema de control para el llenado de garrafas

CAPÍTULO III.

SOLUCIÓN AL PROBLEMA.

3.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS

En esta sección se realiza una descripción completa del comportamiento que se espera del sistema. A continuación hablaremos de las partes del sistema con las que el usuario va a interactuar y del comportamiento que se espera obtener en cada una de ellas.

1. Circuito de alimentación exterior del sistema.

- Desde un cuadro eléctrico externo al sistema formado por servodrive-servomotor, el usuario podrá realizar la secuencia de arranque del servodrive para una correcta puesta en marcha del mismo, y que de esta forma quede preparado para poder recibir los pulsos desde el módulo de pulsos del PLC.
- Dicho circuito de alimentación incorporará una parada de emergencia (STOP), para que el usuario pueda evitar que el sistema siga alimentándose en caso de que exista alguna anomalía en dicho sistema que pueda provocar daños en el mismo o alguna situación de peligro. En caso de que exista alguna alarma en el servodrive, dicho circuito de alimentación quedará en circuito abierto de forma automática mediante la configuración que tendrá, para evitar así posibles daños del sistema.

2. Interfaz gráfica usuario-máquina o HMI.

2.1 Acceso a documentación.

- El acceso a la documentación básica (hoja de características o manual de usuario) de los componentes que forman parte del módulo de entrenamiento: PLC, servomotores, servodrives, etc.

2.2 Control y programación.

- La programación de distintos parámetros de ciertas instrucciones propias de salidas de pulsos del módulo de pulsos del que se dispone, con el fin

de obtener el movimiento deseado en el eje del motor, con respecto a lo que refiere a control de velocidad y control de posición de dicho motor. Se podrán crear rampas de aceleración, variar el sentido de giro del motor (horario o antihorario), establecer un número de pulsos determinado, etc.

2.3 Obtención y estudio de las distintas respuestas.

- La visualización de la respuesta a la salida del módulo de pulsos con respecto a las distintas instrucciones específicas usadas. De esta forma, se obtendrán las gráficas del número de pulsos y de la frecuencia de salida, pudiéndose hacer un estudio de dichas gráficas con opción al guardado de las mismas.
- Estudio y análisis de los resultados obtenidos a través de hojas de cálculo.

2.4 Supervisión.

- La visualización gráfica de una animación que representa una aplicación real en la industrial, como se trata del control de ejes de una máquina de ensamblado de componentes (*pick & place*), para que el usuario pueda observar, analizar y entender algunas de las aplicaciones reales que tiene el uso de servomotores industriales. El usuario podrá simular los distintos movimientos que se pueden conseguir con los servomotores de los ejes X e Y interactuando con una botonera creada para dicho fin.
- La visualización gráfica del estado del cabezal (arriba/abajo, ángulo de rotación) en cada instante.
- Mostrar gráficamente los límites finales de carrera y reflejar el estado de cada uno de ellos.
- La simulación gráfica de la búsqueda de origen del sistema.
- La parada inmediata del proceso en cualquier instante (parada de emergencia).
- Rearmar el sistema tras una parada de emergencia y prepararlo para volver a comenzar.

2.5 Detección de errores.

- La comprobación del correcto funcionamiento del módulo de entrenamiento a través de una serie de pruebas.

2.6 Restricciones.

- Impedir que mientras se esté ejecutando la salida de pulsos para la realización de un determinado movimiento del eje del motor, al activarse otro tipo de instrucción que pueda afectar a dicha salida provocando anomalías en el funcionamiento del sistema, ésta no se vea afectada.

3.2 RECURSOS

Para el presente proyecto han sido necesarios diversos recursos materiales, tanto de tipo hardware como de tipo software. En este apartado se explica cada uno de estos elementos.

Recursos materiales de tipo hardware:

El PLC usado para este proyecto es un PLC tipo modular. Este tipo de PLC admite la incorporación de módulos de expansión, quedando la estructura del autómatas totalmente configurable a las necesidades del sistema. Los módulos usados se muestran a modo de resumen en la tabla 2.

Tipo	Componente	Modelo	Fabricante
PLC	CPU	CJ2M-CPU13	Omron
	Módulo de E/S de pulsos	CJ2M-MD211	
	Módulo de E digitales	CJ1W-ID211	
	Módulo de S digitales	CJ1W-OD212	
	Fuente de alimentación	S8JX-G050240D	
	Conector	XW2D-40G6	
Servopack	Servodrive	SGD 08AP	Yaskawa
	Servomotor	SGM 08AM	Yaskawa

Tabla 2. Recursos hardware.

Recursos materiales de tipo software:

Los dos principales elementos tipos software que manipularemos en el proyecto serán tanto CX-Programmer como CX-Supervisor. Ambas herramientas nos permitirán la programación del PLC y la creación de la interfaz gráfica, respectivamente.

En la siguiente tabla se muestra resumidamente estos elementos software usados.

Tipo	Aplicación	Versión	Desarrollador
Programación PLC	CX-Programmer	9.3	Omron
HMI	CX-Supervisor	3.3	

Tabla 3. Recursos software.

A continuación se detallan cada uno de los elementos que se han mencionado en las tablas 2 y 3.

3.2.1 RECURSOS MATERIALES TIPO HARDWARE

3.2.1.1 CPU (Unidad Central de Procesamiento)

Consulta el estado de las entradas y recoge de la memoria de programa la secuencia de instrucciones a ejecutar, elaborando a partir de ella las señales de salida u órdenes que se enviarán al proceso. Por tanto, la CPU es la encargada de ejecutar el programa de usuario y ordenar las transferencias de información en el sistema de entradas/salidas, así como establecer comunicación con periféricos externos [15].

Modelo: CJ2M-CPU13. Versión de la unidad: 2.0

Especificaciones principales [16]:

- *Batería:*
 - Modelo: CJ1W-BAT01
 - Vida: 5 años a 25°C
- *Tamaño total del área de programa:* 20K pasos
- *Tamaño memoria de datos:* 160K palabras
- *Velocidad de procesamiento:*
 - Tiempo de procesamiento
 - Modo normal: 160 μ s.
 - Tiempo de ejecución:
 - Instrucciones básicas: 0.04 μ s mín.
 - Instrucciones especiales: 0.06 μ s mín.

- Interrupciones:
 - Interrupciones de E/S a interrupciones externas
 - Tiempo de inicio: 31 μ s
 - Tiempo de retorno: 10 μ s
 - Interrupciones programadas
 - Tiempo de inicio: 30 μ s
 - Tiempo de retorno: 11 μ s
- *Tarjetas de memoria externa admisibles:* 128 MB, 256 MB o 512 MB
- *Modos de operación:*
 - Modo programación. Los programas no se ejecutan.
 - Modo monitorización. Los programas se ejecutan. Edición online.
 - Modo ejecución. Modo de operación normal. Los programas se ejecutan.
- *Lenguajes de programación:*
 - Diagrama de relés (LD).
 - Grafcet (SFC).
 - Texto estructurado (ST).
 - Lista de instrucciones (IL).
- *Puertos:*
 - Puerto USB 2.0 tipo B.
 - Puerto serie RS-232C.

3.2.1.2 Módulo de entrada/salida de pulsos

Admite el control de posición y de velocidad mediante salidas de tren de pulsos, por lo que son idóneos para el control de posicionamiento simple en motores paso a paso y servomotores con entrada de tren de pulsos [17].

Modelo: CJ2M-MD211

Especificaciones principales [17]:

- *Entradas:*
 - Tipo: Line driver ó 24 V

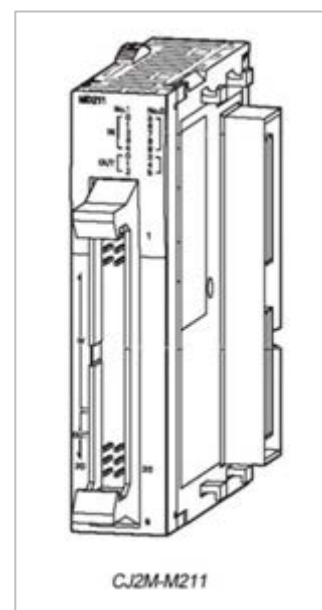


Figura 37. Módulo de pulsos.

- Número: 10 entradas. Pueden ser usadas como entradas normales, entradas de interrupción, entradas de respuesta rápida o como entradas de contador rápido.
 - Entradas normales: máximo 10 entradas.
 - Entradas de interrupción o respuesta rápida: máximo 4 entradas.
 - Entradas de contador rápido: máximo 2 entradas.

Los terminales de entrada enumerados en la siguiente tabla pueden utilizarse como entradas normales. Los terminales de entrada que se utilizan para entradas normales también se utilizan para entradas de interrupción, entradas de respuesta rápida, entradas de contador rápido, y búsqueda de origen. El mismo terminal de entrada sólo puede utilizarse para una de estas funciones.

Pulse I/O Module No.	Terminal symbol	Input bit		Function	Other functions that cannot be used at the same time			
		Word	Bit		Origin search	Normal inputs	Interrupt inputs	Quick-response inputs
0 (on the right)	IN00	CIO 2960	00	Pulse output 0 origin input signal (always)	Normal input 0	Interrupt input 0	Quick-response input 0	---
	IN01		01	Pulse output 0 origin proximity input signal (origin detection method: 0 or 1)	Normal input 1	Interrupt input 1	Quick-response input 1	---
	IN02		02	Pulse output 1 origin input signal (always)	Normal input 2	Interrupt input 2	Quick-response input 2	Counter 1 phase Z or reset input
	IN03		03	Pulse output 1 origin proximity input signal (origin detection method 0 or 1)	Normal input 3	Interrupt input 3	Quick-response input 3	Counter 0 phase Z or reset input
	IN04		04	Pulse output 0 positioning completed signal (operation mode: 2)	Normal input 4	---	---	---
	IN05		05	Pulse output 1 positioning completed signal (operation mode 2)	Normal input 5	---	---	---

Tabla 4. Entradas del módulo de pulsos.

- **Salidas:**
 - Tipo: Colector abierto.
 - Número: 6 salidas. Pueden ser usadas como salidas normales, salidas de pulsos o como salidas PWM.
 - Salidas normales: máximo 6 salidas.
 - Salidas de pulsos: máximo 2 salidas.
 - Salidas PWM: máximo 2 salidas.
 - Método de salida:
 - CW/CCW
 - Pulsos + dirección
 - Frecuencia de salida: de 1 pps a 100 kpps (en incrementos de 1 pps).
 - Modo de salida:
 - Modo continuo (para control de velocidad).
 - Modo independiente (para control de posición).
 - Pulsos de salida:
 - Coordenadas relativas: de 0000 0000 a 7FFF FFF hex (de 0 a 2.147.483.647 pulsos).
 - Coordenadas absolutas: de 8000 0000 a 7FFF FFFF hex (de -2.147.483.648 a 2.147.483.647).
- **Otros:**
 - Curva de aceleración/deceleración:
 - Trapezoidal. Lineal.
 - Trapezoidal. Curva en S.
 - Función de búsqueda de origen.

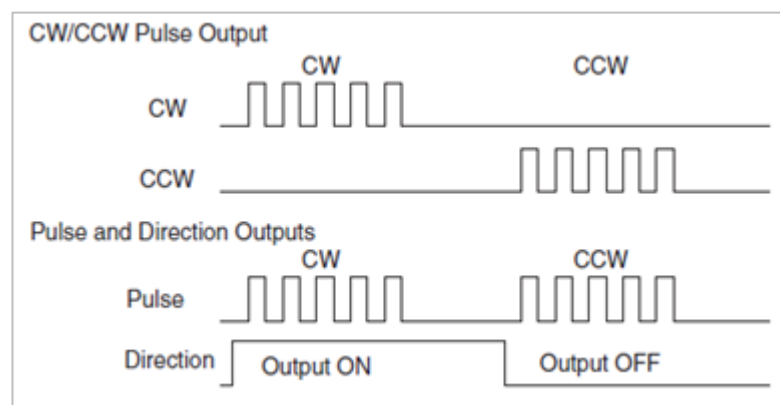


Figura 38. Métodos de salida.

Los terminales de salida enumerados en la siguiente tabla pueden utilizarse como salidas normales. Los terminales de salida que se utilizan para salidas normales también se utilizan para salidas de pulsos, búsquedas de origen y salidas PWM. El mismo terminal de salida sólo puede utilizarse para una de estas funciones.

Pulse I/O Module No.	Terminal symbol	Word	Bit	Pulse output functions*			Other functions that cannot be used at the same time	
				CW/CCW outputs	Pulse + direction outputs	Origin search	Normal outputs	PWM outputs
0 (on the right)	OUT00	CIO 2961	00	CW pulse output 0	Pulse output 0	---	Normal output 0	---
	OUT01		01	CCW pulse output 0	Pulse output 1	---	Normal output 1	---
	OUT02		02	CW pulse output 1	Direction output 0	---	Normal output 2	---
	OUT03		03	CCW pulse output 1	Direction output 1	---	Normal output 3	---
	OUT04		04	---	---	Pulse output 0 error counter reset output (operation modes 1 and 2)	Normal output 4	PWM output 0
	OUT05		05	---	---	Pulse output 1 error counter reset output (operation modes 1 and 2)	Normal output 5	PWM output 1

Tabla 5. Salidas del módulo de pulsos.

3.2.1.3 Módulo de entradas digitales

Los interfaces de entrada establecen la comunicación entre la CPU y el proceso, filtrando, adaptando y codificando las señales procedentes de los elementos de entrada.

Los módulos de entrada digitales trabajan con rangos de tensión, permitiendo conectar al autómatas captadores de tipo todo o nada como finales de carrera, pulsadores...

Modelo: CJ1W-ID211

Especificaciones principales [18]:

- *Módulo:* 16 entradas digitales.
- *Tensión de entrada:* 24 VDC
- *Corriente de entrada:* 7 A
- *Tiempo de respuesta:*

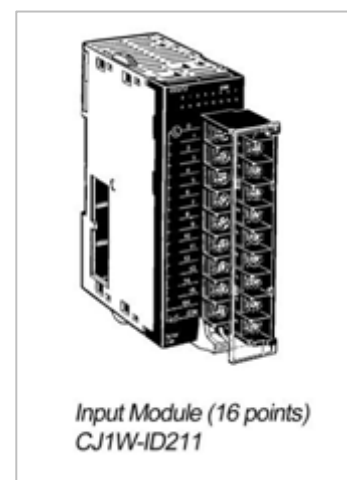


Figura 39. Módulo de entradas

- ON: 20 μ s *digitales.*
- OFF: 400 μ s

3.2.1.4 Módulo de salidas digitales

Las interfaces de salida establecen la comunicación entre la CPU y el proceso, decodificando y amplificando las señales generadas durante la ejecución del programa antes de enviarlas a los elementos de salida.

Un módulo de salida digital permite al autómata programable actuar sobre los actuadores que admitan órdenes de tipo todo o nada.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómata en el caso de módulos de salidas a relé. En los módulos estáticos, los elementos que conmutan son componentes electrónicos como transistores o triacs y solo pueden actuar sobre elementos que trabajan a la misma tensión. En cambio, los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

Modelo: CJ1W-OD212

Especificaciones principales [18]:

- *Módulo:* 16 salidas digitales.
- *Tipo:*
 - Salida a transistor.
 - Salida tipo sumidero (PNP Sourcing output).
- *Tensión:* 24 VDC
- *Corriente de salida:* 5 A
- *Tiempo de respuesta:*
 - ON: 0.1 ms
 - OFF: 0.8 ms

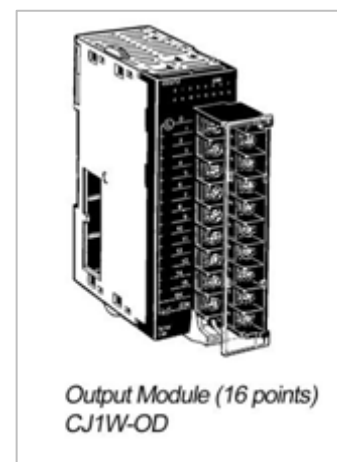


Figura 40. Módulo de salidas digitales.

3.2.1.5 Fuente de alimentación

Proporciona, a partir de la tensión alterna de entrada procedente de la red, las tensiones continuas de operación adecuadas para el correcto funcionamiento del autómatas. Es frecuente que la propia alimentación proporcione directamente una salida auxiliar a 24 Vcc con nivel de potencia suficiente para alimentación de sensores.

Modelo: S8JX_G050240D

Especificaciones principales [19]:

- *Potencia:* 50 W
- *Tensión de entrada:* 100-240 VAC
- *Corriente de entrada (230V):* 0.6 A
- *Tensión de salida:* 24 VDC
- *Corriente de salida:* 2.1 A
- *Frecuencia:* 50/60 Hz
- *Protección contra sobretensiones.*

3.2.1.6 Servodrive

El servodrive utilizado es de la marca Yaskawa (SGD-08AP) y será el encargado de gobernar al servomotor, para que éste realice los correspondientes movimientos. Su principal función será la de convertir las señales de pulsos recibidas desde el PLC para alimentar las bobinas necesarias del servomotor.

Modelo: SGD 08AP

Especificaciones principales [12]:

- *Voltaje de alimentación:* 200-230 VAC
- *Frecuencia de alimentación:* 50/60 Hz
- *Potencia de salida:* 750 W
- *Corriente de salida nominal:* 4,4 A
- *Máxima corriente de salida:* 13,9 A
- *Tipo de motor a conectar en la salida:* SGM 08A-
- *Encoders aplicables:* Encoder incremental (2048 pulsos por vuelta), Encoder incremental (2000 pulsos por vuelta) o Encoder absoluto (1024 pulsos por vuelta).

- *Tipos de señales de control por pulsos aceptables:* PULSO+DIRECCIÓN, CW+CCW, diferencia de fases (fases A y B).
- *Peso:* 1.5 kG
- *Fuente de alimentación:* 200 a 230 VAC
- *Temperatura de trabajo:* 0 a 55 °C
- *Frecuencia:* 50-60Hz

3.2.1.7 Servomotor

El servomotor utilizado es de la marca Yaskawa (SGM 08AM) y es el accionamiento encargado de realizar los movimientos necesarios a través de su eje, siendo gobernado por el servodrive.

Modelo: SGM 08AM

Especificaciones principales [12]:

- *Tipo:* Brushless de imán permanente
- *Potencia nominal:* 750 W
- *Par nominal:* 2,39 N.m
- *Corriente nominal:* 4,4 A
- *Velocidad nominal:* 3000 rpm
- *Encoder:* incremental (2048 pulsos por vuelta)
- *Sin frenos dinámicos.*

3.2.1.8 Conector

Ofrece un sistema de conexión fácil de todos los elementos externos al módulo de pulsos.

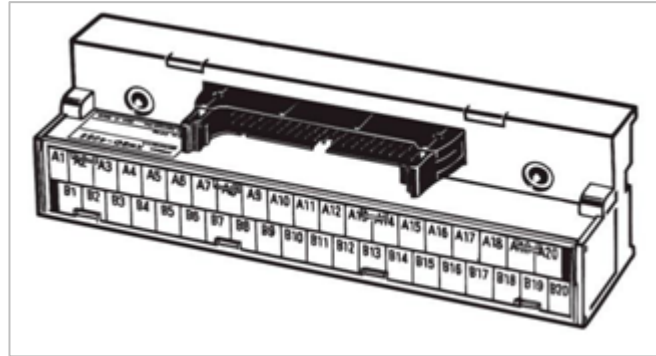


Figura 41. Conector.

3.2.2 RECURSOS MATERIALES TIPO SOFTWARE

3.2.2.1 CONTROL. CX-Programmer

CX-Programmer es el software de programación para todas las series de PLC de Omron. Se encuentra totalmente integrado en el conjunto de programas CX-One.

Además de un entorno de programación exhaustivo, CX-Programmer proporciona todas las herramientas necesarias para proyectar, probar y depurar cualquier sistema de automatización [21].

En un mismo proyecto de CX-Programmer pueden trabajar simultáneamente varios programas creados con diferentes tipos de programación:

- Diagrama de Relés (LD)
- Texto estructurado (ST)
- Graficet (SFT)

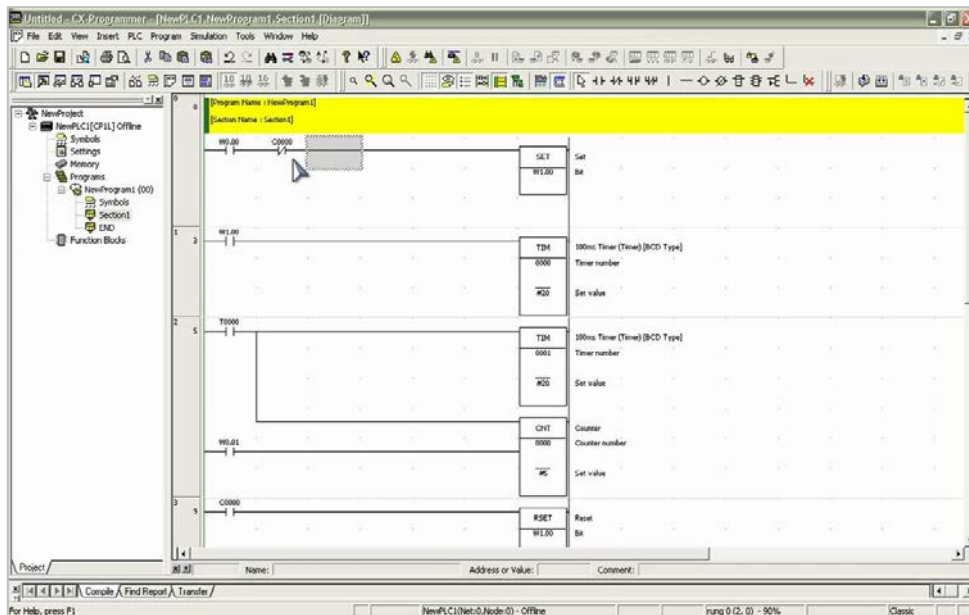


Figura 42. CX-Programmer.

3.2.2.2 SCADA. CX-Supervisor

SCADA proviene de las siglas Supervisory Control And Data Acquisition (Adquisición de datos y supervisión de control). Es una aplicación software que de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Proporciona información del proceso a varios usuarios: operarios, supervisores de control de calidad, mantenimiento, etc.

Los SCADA's son la interfaz Hombre – Máquina (HMI) y permite visualizar todos los procesos y señales implementados en un sistema. Los sistemas de interfaz entre usuario y planta basados en paneles de control repletos de indicadores luminosos, instrumentos de medida y pulsadores, están siendo sustituidos por sistema digitales que implementan el panel sobre la pantalla del ordenador. El control directo lo realizan los controladores autónomos digitales y/o autómatas programables y están conectados a un ordenador que realiza las funciones de diálogo con el operador, tratamiento de la información y control de la producción, utilizando un SCADA [13]:

Las funciones principales de un SCADA son:

- Adquisición de datos, para recoger, procesar y almacenar información recibida.

- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Control, para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.
- Transmisión de información con dispositivos de campo y otros PC.
- Base de datos. Gestión de datos con bajos tiempos de acceso.
- Presentación. Representación gráfica de los datos. Interfaz del operador o HMI (Human Machine Interface).
- Explotación de los datos adquiridos para gestión de calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.

Un paquete SCADA debe ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarmas, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómatas, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador, y no sobre la del autómatas, menos especializado, etc.
- Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones basadas en el PC; con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.
- Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general, como actualmente se está imponiendo VBA (Visual Basic for Applications), lo cual confiere una potencia muy elevada y gran versatilidad.

Un SCADA debe reunir varios objetivos:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.

- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

CX-Supervisor es un software de supervisión para sistemas SCADA. Se utiliza para visualizar e interactuar con el usuario durante el funcionamiento. Las funciones de control y supervisión pueden utilizar tecnologías abiertas basadas en PC como son las tecnologías:

- COM (Component Object Model)
- OLE (Object Linking and Embedding)
- DDE (Dynamic Data Exchange). Sustituido por OLE
- OPC (OLE for Process Control)
- ADO (ActiveX Data Objects)

CX-Supervisor es suficientemente flexible para trabajar sobre un solo PLC o sobre un sistema entero de producción. La programación es en un entorno de Windows de forma intuitiva mediante scripts y ventanas. Los scripts pueden ser propios del programa (CX-Supervisor scripts), Java scripts o Visual Basic scripts [22].

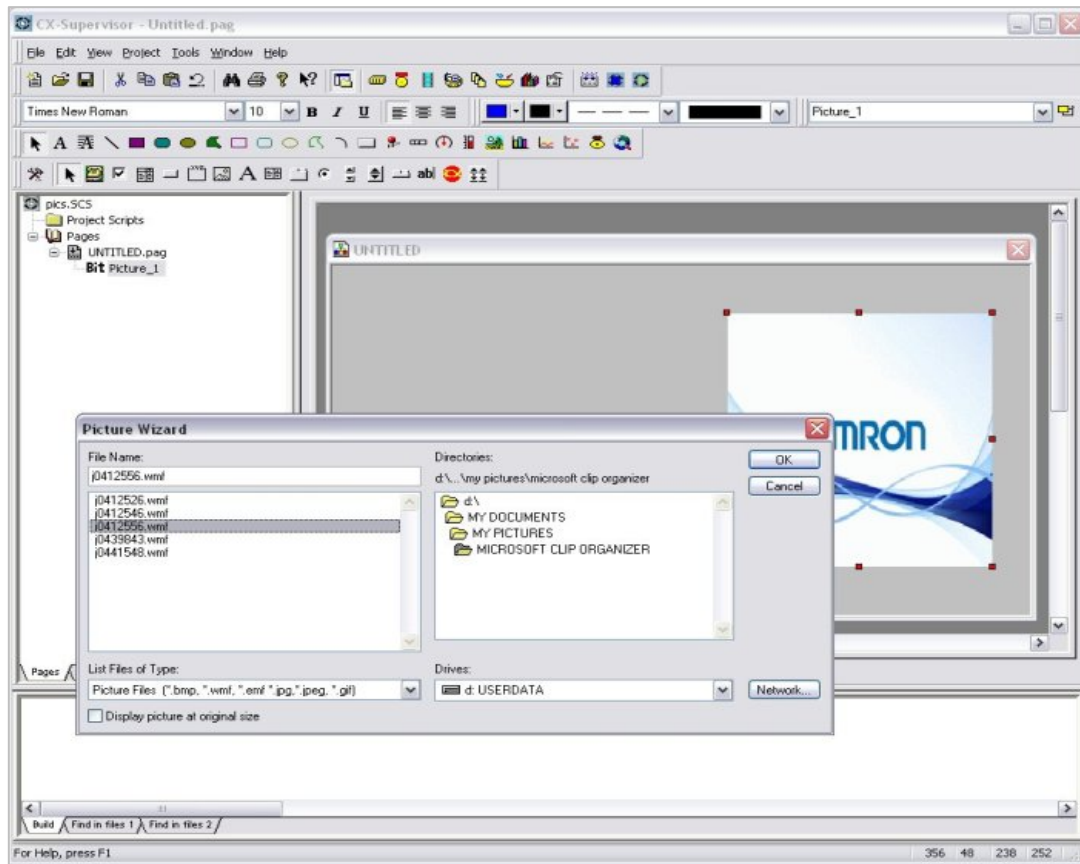


Figura 43. CX-Supervisor.

3.2.2.3 Microsoft Excel

Microsoft Excel es un software que permite crear tabales, y calcular y analizar datos. Este tipo de software se denomina software de hoja de cálculo. Excel permite crear tabalas que calculan de forma automática los totales de los valores numéricos que especifica, imprimir tabalas con diseños cuidados y crear gráficos simples [23].

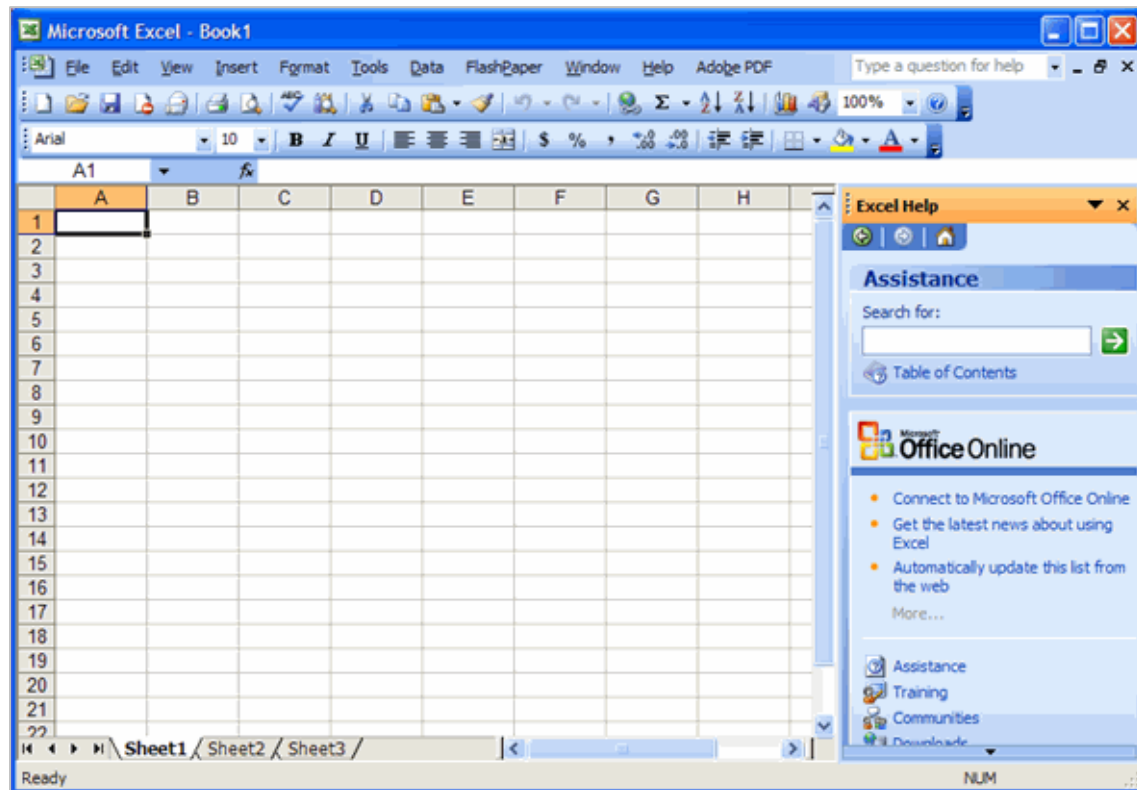


Figura 44. Excel.

3.3 SECUENCIA DE ARRANQUE

3.3.1 CIRCUITO

Para la correcta puesta en marcha e inicialización del sistema se ha diseñado un circuito externo de alimentación, el cual también permitirá al usuario poder detener el funcionamiento del sistema en caso de producirse alguna situación anómala.

Dicho circuito proporcionará algunas ventajas, tales como:

- Eliminación de ruido a la entrada del servodrive
- Protección del usuario en caso de contacto directo e indirecto.
- Parada de emergencia en caso de detección de alguna anomalía en el funcionamiento del módulo.
- Protección del servodrive en situación de alarma del mismo.

3.3.1.1 Esquema

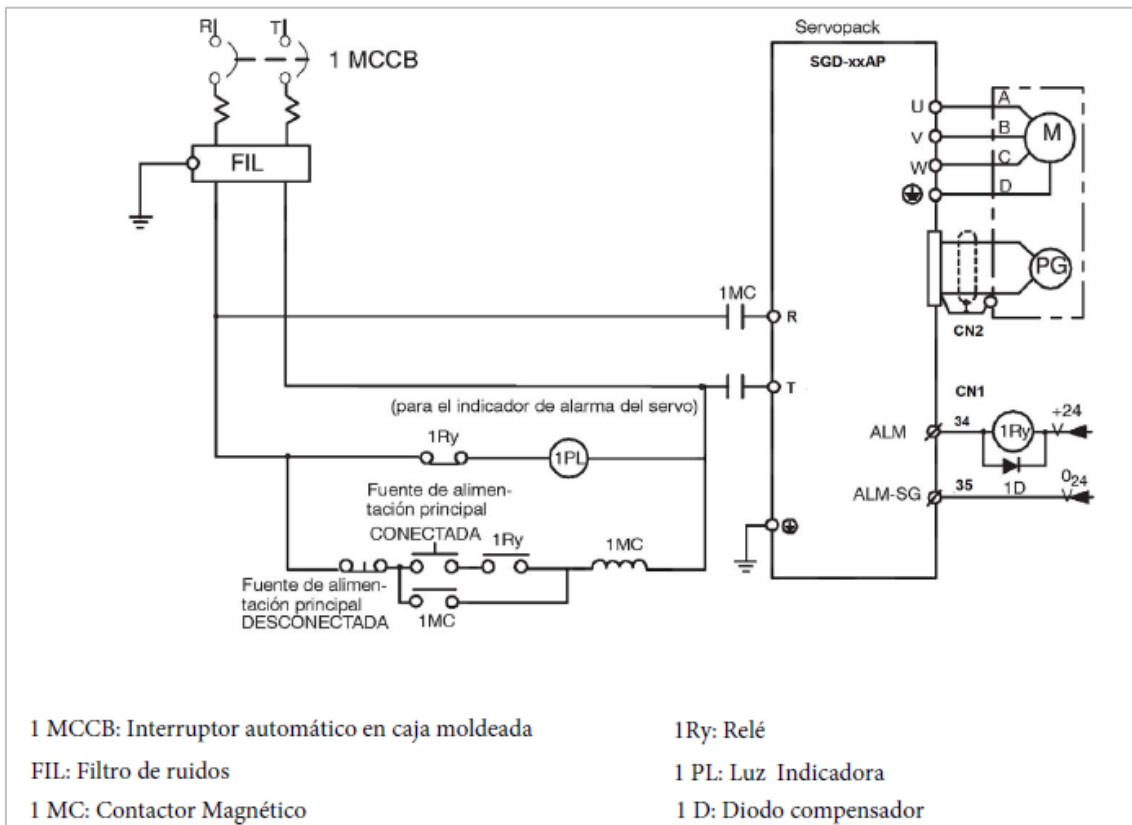


Figura 45. Circuito de arranque.

3.3.1.2 Funcionamiento

Para la correcta puesta en marcha del sistema habrá que seguir obligatoriamente los siguientes pasos:

1. Poner en modo ON el interruptor magnético en caja moldeada (MCCB) para que puede circular la corriente proporcionada por el secundario del transformador a través de nuestro circuito de arranque.
2. El siguiente paso será activar el pulsador (POWER ON), durante al menos 2 segundos, para poder alimentar la bobina del contactor magnético (1 MC) y que, de esta forma, los contactos principales del contactor queden enclavados. Con esto último, quedará cerrado el circuito de alimentación, pudiendo circular a través del mismo la corriente necesaria que consume el SERVODRIVE y quedando éste alimentado.

3. Sin dejar de activar el pulsador, habrá que fijarse en los LEDs de la carcasa del SERVODRIVE, los cuales nos indicarán cuando se ha inicializado el mismo correctamente. Para ello tendremos que fijarnos que en primer lugar se encenderán los LEDs verde (RUN) y rojo (ALARM), y poco después de tener activado el pulsador (POWER ON) durante al menos dos segundos, se tendrá que apagar el LED rojo quedando solamente el LED verde encendido.

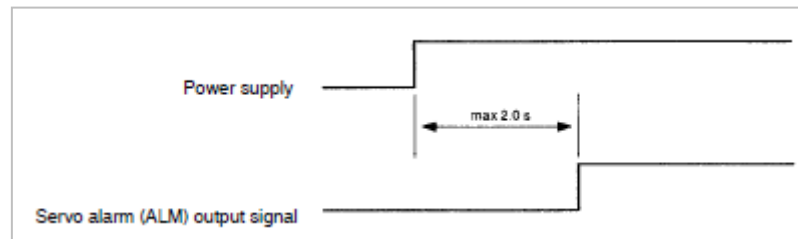


Figura 46. Circuito de arranque.

4. En el momento que quede solamente encendido el LED verde (RUN) liberaremos el pulsador y el circuito se mantendrá cerrado si no existe ninguna alarma del SERVODRIVE. El hecho de que dicho circuito de alimentación quede cerrado, se debe a que al alimentar la bobina del relé el contacto auxiliar NA del mismo pasará a estar cerrado y el contacto NA del relé de 24V, cuya bobina se alimenta con la señal de alarma del servodrive, pasará a estar cerrado en caso de no existir alarma.

5. Cumpliéndose todo lo comentado en los pasos anteriores, el servodrive quedará inicializado y, por tanto, preparado para recibir señales de pulsos desde el módulo del PLC.

NOTA: En caso de querer detener el funcionamiento del sistema ante una situación anómala del mismo, el usuario podrá hacerlo mediante la parada de emergencia (POWER OFF) la cual dejará abierto dicho circuito de alimentación.

3.3.2 COMPONENTES

3.3.2.1 *Trafo*

Debido a la antigüedad del servodrive, se ha decidido interponer un transformador de 3 KVA entre la red eléctrica y el mismo, que proporcionará un aislamiento galvánico. De esta forma se reduce la tensión de alimentación de 230 V a 200 V asegurando que el servodrive pueda funcionar correctamente y proporcionando seguridad eléctrica, para que el mismo no quede dañado en caso de una posible subida de tensión, al trabajar con una tensión inferior y aislada a la de la red eléctrica principal.

3.3.2.2 *MCCB (Interruptor magnético en caja moldeada)*

Para prevenir accidentes en el circuito de alimentación debido a fallos de conexión a tierra (contactos indirectos), contra contactos de algún usuario con partes eléctricas de la instalación (contactos directos) o contra sobrecargas, se colocará en el circuito de alimentación un MCCB (Moulded Case Circuit Breaker), cuya características dependerán del modelo de SERVOPACK usado. Para una selección correcta del MCCB habrá que mirar en la hoja de características del SERVOPACK.

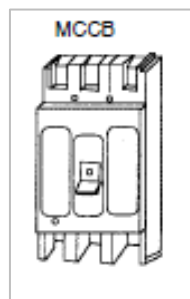


Figura 47. MCCB.

En dicha hoja de características encontramos la siguiente tabla:

Class	SGD SERVOPACK Type	Power Capacity Per SGD SERVOPACK* kVA	Current Capacity per MCCB or Fuse † A
200 VAC	SGD-A3AP	0.25	5
	SGD-A5AP	0.3	
	SGD-01AP	0.5	
	SGD-02AP	0.75	
	SGD-04AP	1.2	
	SGD-08AP	2.2	
100 VAC	SGD-A3BP	0.2	5
	SGD-A5BP	0.3	
	SGD-01BP	0.5	
	SGD-02BP	0.75	

* Values at rated load
† Operating characteristics (25°C) : 200%/2s or more, 700%/0.01s or more

Tabla 6. Tabla MCCB .

Como podemos observar en la tabla para nuestro modelo de SERVOPACK (SGD-08AP), la capacidad de corriente del MCCB a colocar en el circuito de alimentación externo será de 16 A.

NOTA: Ha de saberse que el MCCB puede ser sustituido por un interruptor diferencial de 30 mA y un interruptor magnétotérmico de 16 A. De esta forma conseguimos en el circuito, conectado en el secundario del trafo, seguridad contra sobrecargas y protección al usuario contra contactos directos e indirectos.

Se ha decidido no entrar en normativa de seguridad eléctrica, puesto que al ser una maqueta de prueba o módulo de entrenamiento no se le ha dado tal importancia. En caso de ser aprobada dicho proyecto para su utilización en alguna universidad, habría que añadir en la presente memoria toda la normativa de seguridad eléctrica aplicada.

3.3.2.3 Filtro de ruido

En el circuito de alimentación externo también hay que colocar un filtro de ruido cuya función será prevenir que la CPU del SERVODRIVE se vea afectada por las interferencias de ruido producidas en dicho circuito de alimentación y que, de esta forma, se pueda producir un funcionamiento anómalo del sistema.

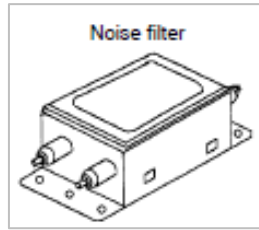




Figura 48. Filtro de ruido.

Según la tabla de filtros de ruido que aparece en la hoja de características de nuestro SERVOPACK, podemos observar el filtro que debemos usar. Dicha tabla se muestra a continuación:

Class	SGD SERVOPACK Type		Applicable Noise Filter	Recommended Noise Filter *	
				Type	Specifications
200 VAC	30 W (0.04 HP)	SGD-A3AP	 Good	LF-205A	Single-phase 200 VAC class, 5A
	50 W (0.07 HP)	SGD-A5AP			
	100 W (0.13 HP)	SGD-01AP			
	200 W (0.27 HP)	SGD-02AP		LF-210	Single-phase 200 VAC class, 10 A
	400 W (0.53 HP)	SGD-04AP		LF-220	Single-phase 200 VAC class, 20 A
	750 W (1.01 HP)	SGD-05AP			
100 VAC	30 W (0.04 HP)	SGD-A3BP	 Poor	LF-205A	Single-phase 200 VAC class, 5 A
	50 W (0.07 HP)	SGD-A5BP			
	100 W (0.13 HP)	SGD-01BP		LF-210	Single-phase 200 VAC class, 10 A
	200 W (0.27 HP)	SGD-02BP			

* Made by Tokin Corp.

Tabla 7. Tabla filtro de ruido.

Como se puede observar en la tabla anterior, el filtro de ruido a usar según nuestro modelo de SERVOPACK (SGD-08AP) será el tipo LF-220, el cual como se puede observar en la tabla soporta una corriente de hasta 20 A.

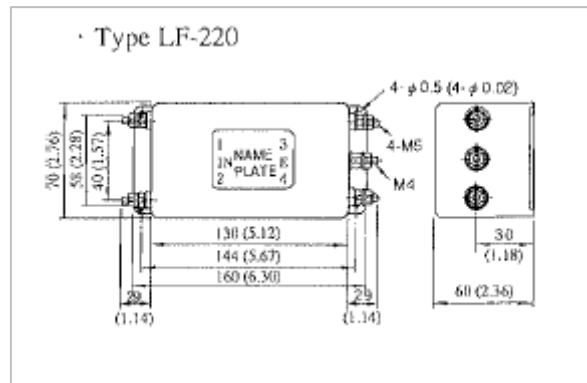


Figura 49. Esquema filtro de ruido.

Precauciones:

- Colocar el filtro de ruido tan cerca como sea posible del SERVOPACK y de las señales de E/S para que el efecto del mismo sea óptimo.
- Realizar una correcta conexión del filtro de ruido, colocando la tierra en el mismo punto de tierra donde está colocada la tierra del SERVOPACK, para asegurar que el filtro cumpla su función adecuadamente.

3.3.2.4 Contactor magnético

Su función será dejar el circuito externo de alimentación cerrado automáticamente, en caso de no existir alarma en el SERVODRIVE, para que así éste quede alimentado después de que pasen al menos 2 segundos desde que se empezó a mantener activado el pulsador.

Según la hoja de características del SERVODRIVE, nos dicen que en caso de alimentar con el circuito externo de alimentación solamente un SERVODRIVE de la Σ -Series (vistos en la tabla de filtros de ruido) habrá que colocar en el circuito externo de alimentación un contactor magnético de 30 A.

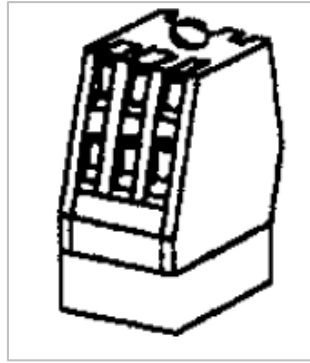


Figura 50. Contactor magnético.

Conexionado interno:

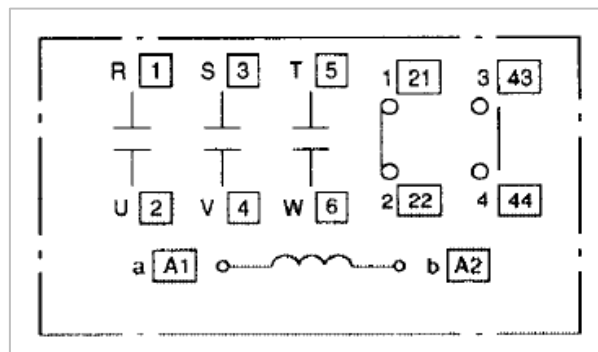


Figura 51. Conexionado interno.

3.3.2.5 Relé

Su función es la de abrir el circuito externo de alimentación, en caso de que exista algún tipo de alarma en el servodrive. Por lo tanto, el servodrive utilizará al relé en su salida de alarma del conector de E/S como elemento de autoprotección.

Entre las características del relé a usar según la hoja de características el servopack, éste tiene que tener una bobina que se excite con 24 VDC y los contactos del mismo soporten 5 A.

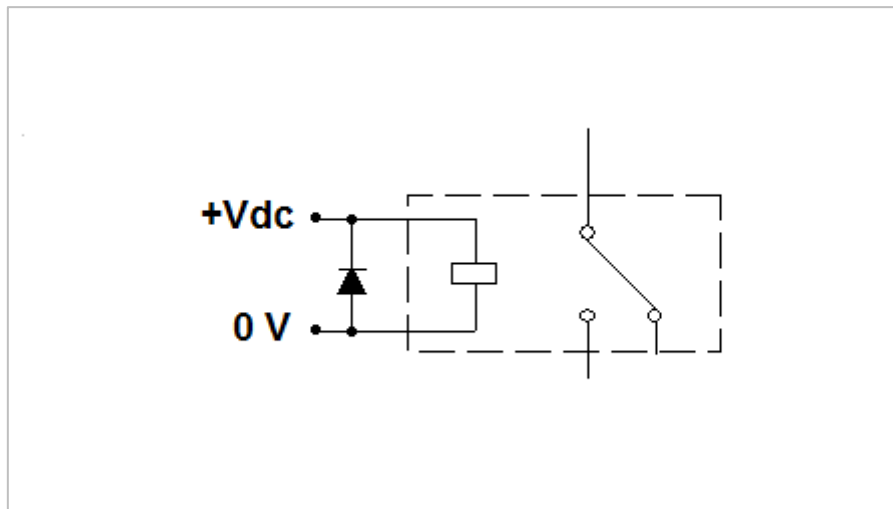


Figura 52. Esquema eléctrico.

NOTA: Alimentar con la polaridad correcta la bobina del relé, para que ésta pueda excitarse y dar lugar a la apertura o cierre de los contactos.

3.3.2.6 Pulsador

Su función será la de cerrar el circuito de alimentación para que pueda pasar la corriente necesaria a través del mismo, y así poder alimentar la bobina del contactor magnético.

Según la hoja de características del servopack, será un necesario usar un pulsador que soporte una corriente de 5 A.

3.3.2.7 Parada de emergencia

Su función será la de que el usuario pueda abrir el circuito de alimentación para poder detener el funcionamiento del sistema en caso de situación anómala.

Según la hoja de características del servopack, será necesario usar una parada o seta de emergencia que soporte una corriente de 5 A.

3.3.2.8 Cableado

Para seleccionar el cable a usar en el circuito externo de alimentación, vemos que en la hoja de características del SERVOPACK encontramos la siguiente tabla cuya temática es el cableado:

External Terminal	Symbol	Cable Size mm ²									
		200 VAC						100 VAC			
		SGD-A3AP	SGD-A5AP	SGD-01AP	SGD-02AP	SGD-04AP	SGD-08AP	SGD-A3BP	SGD-A5BP	SGD-01BP	SGD-02BP
On Line	Main Circuit Power Input	HIV 1.25 or more				HIV 2.0		HIV 1.25 or more			HIV 2.0 or more
	Motor Connection	Use cables provided by YASKAWA. For details, see Par. 10.5, "CABLES." If other cables are used, confirm your rated current and select a twisted cable within a range of AWG22 to AWG18 (0.3 to 0.80 mm ²).									

Tabla 8. Cableado recomendado.

Como podemos observar en la tabla anterior, para nuestro modelo de SERVOPACK (SGD-08AP) el cableado a usar será un HIV (Heat-resistant Vinyl-insulated Cable o cable de PVC con aislamiento a prueba de calor, en español) cuya sección mínima sea de 2 mm² y que soporten una tensión mínima de 600 Vca.

Precauciones:

- Mantener una distancia mínima de 30 cm entre los cables del circuito de alimentación externo y los cables del circuito de control para evitar que las señales de control se vean afectadas por interferencias producidas en el circuito de alimentación. Por lo tanto no colocar ambos tipos de cables en un mismo conducto.
- Conectar la tierra del servodrive y filtro de ruido a un mismo punto de tierra. Se recomienda que dicho punto de tierra sea de clase 3, es decir, que tenga una resistencia de 100 Ω o menos.

3.4 ADAPTACIÓN DE SEÑALES Y CONEXIONADO

3.4.1 SEÑALES DE E/S DEL MÓDULO DE PULSOS MD211

A continuación se muestran las señales de E/S del módulo de pulsos MD211:

- Señales de salida

Pulse I/O Module No.	Output terminal symbol	Bit address	Normal outputs	Pulse outputs*			PWM output
				CW/CCW outputs	Pulse + direction outputs	Origin search output	
0 (on the right)	OUT00	CIO 2961.00	Normal output 0	CW pulse output 0	Pulse output 0	---	---
	OUT01	CIO 2961.01	Normal output 1	CCW pulse output 0	Pulse output 1	---	---
	OUT02	CIO 2961.02	Normal output 2	CW pulse output 1	Direction output 0	---	---
	OUT03	CIO 2961.03	Normal output 3	CCW pulse output 1	Direction output 1	---	---
	OUT04	CIO 2961.04	Normal output 4	---	---	Pulse output 0 error counter reset output	PWM output 0
	OUT05	CIO 2961.05	Normal output 5	---	---	Pulse output 1 error counter reset output	PWM output 1

Tabla 9. Señales de salida.

Como vamos a usar el método de control de Servomotores de pulso y dirección, y sólo vamos a controlar un SERVODRIVE, por lo tanto haremos uso solamente de la salida de pulsos 0. De esta forma, usaremos las siguientes señales de las mostradas en la tabla anteriormente:

1. OUT00 (Pulse output 0). Esta señal de salida proporcionará los pulsos necesarios para proporcionar al motor el número de pasos y la velocidad del eje.
2. OUT02 (Direction output 0). Esta señal de salida indicará los pulsos para determinar el sentido de giro del motor (CW o CCW).
3. IN03 (Interrupt input 3): Se usará como entrada de interrupción para el modo de control mixto.
4. OUT04 (Pulse output 0 error counter reset output). Esta señal de salida nos proporcionará el reseteo del contador al alcanzar el origen; se reestablecerá el contador de pulsos una vez que se consiga alcanzar la posición de origen.

- Señales de entrada

Pulse I/O Module No.	Input terminal symbol	Bit address	Normal inputs	Interrupt inputs* (Direct Mode/Counter Mode)	Quick-response inputs	High-speed counter inputs	Pulse output origin search inputs
0 (on the right)	IN00	CIO 2960.00	Normal input 0	Interrupt input 0	Quick-response input 0	---	Pulse output 0 origin input signal
	IN01	CIO 2960.01	Normal input 1	Interrupt input 1	Quick-response input 1	---	Pulse output 0 origin proximity input signal
	IN02	CIO 2960.02	Normal input 2	Interrupt input 2	Quick-response input 2	Counter 1 phase Z or reset	Pulse output 1 origin input signal
	IN03	CIO 2960.03	Normal input 3	Interrupt input 3	Quick-response input 3	Counter 0 phase Z or reset	Pulse output 1 origin proximity input signal
	IN04	CIO 2960.04	Normal input 4	---	---	---	Pulse output 0 positioning completed signal
	IN05	CIO 2960.05	Normal input 5	---	---	---	Pulse output 1 positioning completed signal
	IN06	CIO 2960.06	Normal input 6	---	---	Counter 1 phase A, increment, or count input	---
	IN07	CIO 2960.07	Normal input 7	---	---	Counter 1 phase B, decrement, or direction input	---
	IN08	CIO 2960.08	Normal input 8	---	---	Counter 0 phase A, increment, or count input	---
	IN09	CIO 2960.09	Normal input 9	---	---	Counter 0 phase B, decrement, or direction input	---

Tabla 10. Señales de entrada.

Las señales de entradas, de la tabla anterior, que vamos a usar al utilizar la salida de pulsos 0 será:

1. IN00 (Pulse output 0 origin input signal). En esta señal de entrada se conectará la señal correspondiente a la fase Z de SERVODRIVE, para que el módulo pueda recibir la señal de origen alcanzado.
2. IN01 (Pulse output 0 origin proximity input signal). En esta señal de entrada se conectará el sensor de proximidad, de esta forma se informará al módulo de pulsos si el motor se encuentra cerca del origen y poder así variar su velocidad.
3. IN04 (Pulse output 0 positioning completed signal). En esta señal de entrada se conectará la señal de posición completada INP o COIN procedente del SERVODRIVE, para que éste pueda indicarle si el motor ha terminado de realizar el movimiento deseado por el usuario.

NOTA: Se ha decidido usar como método de control por pulsos, el método de pulso y dirección, puesto que el SERVODRIVE viene configurado inicialmente para ser controlado por dicho método. Se podría cambiar dicho método de control mediante un software determinado que permite cambiar la configuración del SERVODRIVE, pero debido a la antigüedad del mismo es muy complicado encontrar dicho software, ya obsoleto. Por tanto, se ha decidido adaptar el módulo de pulsos al SERVODRIVE con respecto al método de control, puesto que este primero es más moderno y tiene una mayor flexibilidad a la hora de trabajar con él.

3.4.2 SEÑALES DE E/S DEL SERVODRIVE

Las señales de E/S del Servodrive se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Table 5.4 Connector 1CN Layout of SGD SERVOPACK

2	*PULS	Reference Pulse Input 0V	1	PULS	Reference Pulse Input	20	PAO	PG Output (Phase-A)	19	SG	PG Output Signal 0V
4	*SIGN	Reference Sign Input 0V	3	SIGN	Reference Sign Input	22	PBO	PG Output (Phase-B)	21	*PAO	PG Output (Phase-A)
6	CLRO	Error Counter Clear Input 0V	5	CLR	Error Counter Clear Input	24	PCO	PG Output (Phase-C)	23	*PBO	PG Output (Phase-B)
8	COIN	Positioning Completion Signal Output	7	BK	Brake Interlock Signal Output	26			25	*PCO	PG Output (Phase-C)
10	SG-COM	Common 0V to BK, COIN and TCON	9	TCON	TCON Signal Output	28			27		
12	N-CL	Reverse Current Limit ON Input	11	P-CL	Forward Current Limit ON Input	30	ALO1	Alarm Code Output (Open collector output)	29		
14	S-ON	Servo ON Input	13	+24 V IN	External Power Input	32	ALO3		31	ALO2	Alarm Code Output (Open collector output)
16	P-OT	Forward Prohibit Input	15	P-CON	P Drive Input	34	ALM	Servo Alarm Output	33	SG-AL	Alarm Code Output Common 0V
18	ALMRST	Alarm Reset Input	17	N-OT	Reverse Prohibit Input	36	FG	Frame Ground	35	ALM-SG	Servo Alarm Output

Tabla 11. Señales de E/S del servodrive.

De dichas señales, mostradas en la tabla anterior, se usarán las siguientes:

1. PULS/*PULS: A través de esta señal de entrada se introducirán los pulsos de salida procedentes del módulo de pulsos, los cuales indicarán al motor el número de pasos y la velocidad del eje del motor.
2. SIGN/*SIGN: Esta señal de entrada recibirá los pulsos de salida del módulo de pulsos que indicarán el sentido de giro del eje del motor (CW o CCW).
3. CLR/CLRO: La señal de entrada de reseteo del contador de errores se usará para que a través de una señal de salida del módulo de pulsos, se pueda limpiar la acumulación de pulsos en el SERVODRIVE, una vez que se consigue alcanzar el origen de la máquina.
4. COIN: La señal de salida de posición completada tendrá la función de indicar al módulo de pulsos cuando ha completado el movimiento deseado por el usuario.
5. S-ON: La señal de entrada SERVO-ON habrá que activarla para que el SERVODRIVE pueda responder a los pulsos recibidos desde el módulo de pulsos.
6. P-OT/N-OT: Tendremos que conectarlas a 0V para que el SERVODRIVE nos permita mover el Servomotor tanto en sentido horario como antihorario.
7. +24V IN: Es la alimentación de las señales de control, y habrá que conectarla a +24 V de la fuente de alimentación DC.
8. PCO/*PCO: Se trata de la fase C o Z del encoder, la cual se conectará al módulo de pulsos para que el SERVODRIVE pueda indicarle al mismo, que el servomotor ha alcanzado el origen.
9. FG: Se conectará al punto de tierra común del sistema.
10. ALM/ALM-SG: Esta señal de salida nos indicará cuando se encuentra el SERVODRIVE en situación de alarma.

3.4.3 SEÑALES DEL ENCODER

Las señales del encoder se muestran, a continuación, en la siguiente tabla:

2	PG0V	PG Power 0 V	1	PG0V	PG Power 0 V	12	BAT +	Battery (+) (For absolute encoder only)	11		
			3	PG0V	PG Power 0 V				13	BAT -	Battery (-) (For absolute encoder only)
4	PG5V	PG Power 0 V	5	PG5V	PG Power +5V	14	PC	PG Input C-phase	15	*PC	PG Input C-phase
6	PG5V		7	DIR	Rotating Direction Input	16	PA	PG Input A-phase	17	*PA	PG Input A-phase
8	PS	PG Input S-phase (For absolute encoder only)	9	+PS	PG Input S-phase (For absolute encoder only)	18	PB	PG Input B-phase	19	*PB	PG Input B-phase
10						20	FG	Frame Ground			

Tabla 12. Señales del encoder.

Al tratarse de un encoder incremental del que disponemos, la señales que de las que el encoder va a hacer uso, de la tabla anterior, serán: PG0V, PG5V, DIR, PC/*PC, PA/*PA, PB/*PB y FG.

3.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES Y CÁLCULOS

Para poder adaptar las señales de E/S del módulo de pulsos a las señales de E/S del SERVODRIVE habrá que colocar resistencias limitadoras de corriente en algunos casos, para lo que habrá que realizar los cálculos necesarios. Para ello estudiaremos previamente las características de las E/S de cada uno de los elementos a adaptar:

Las características de las E/S del módulo de pulsos son:

- Señales de salida de pulsos (OUT00-OUT03)

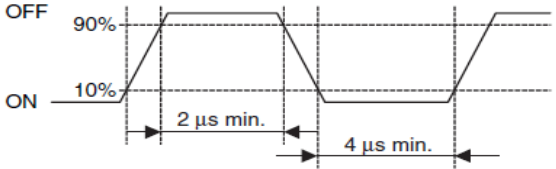
Item	Specifications
Rated voltage	5 to 24 VDC
Allowable voltage range	4.75 to 26.4 VDC
Maximum switching capacity	30 mA
Minimum switching capacity	7 mA
Maximum output frequency	100 kHz
Output waveform	

Tabla 13. Especificaciones de las señales de salida de pulsos.

Como se puede observar en la tabla, las salidas de pulsos pueden proporcionar una corriente de salida 7-30 mA, una frecuencia máxima de salida de 100 KHz = 100Kpps (Kilo pasos por segundo) y pueden trabajar con un rango de tensión permitido de 4,75-26,4 VDC. Dichas salidas de pulsos será de colector abierto.

El circuito interno de las señales de salida de pulsos en dicho módulo de pulsos es de la siguiente forma:

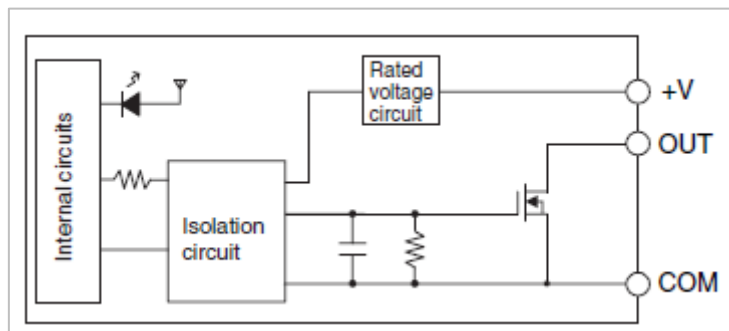


Figura 53. Circuito interno de señales de salida.

- Señales de entrada (IN00-IN09)

Inputs	IN00-IN09	
Input form	24-VDC input	
Input current	6.0 mA typical	5.5 mA typical
Input voltage range	24 VDC +10%/-15%	
Input Impedance	3.6 k Ω	4.0 k Ω
Number of circuits	1 common, 1 circuit	
ON voltage/current	17.4 VDC min., 3 mA min.	

Tabla 14. Especificaciones de las señales de entrada.

Como podemos observar en la tabla, la tensión a aplicar en las señales de entrada será de 24 VDC y la corriente de entrada será de 5,5-6 mA. Dichas entradas serán de 24 VDC o line driver.

El circuito interno de las señales de entrada en dicho módulo de pulsos es de la siguiente forma:

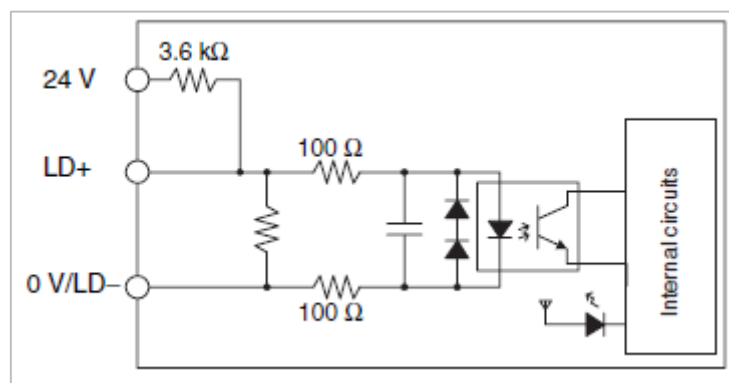


Figura 54. Circuito interno de señales de entrada.

Las características de las E/S del SERVODRIVE son:

- Señales de entrada de pulsos

De su hoja de características, vemos que las entradas de pulsos del dispositivo (PULS, SIGN y CLR) se conectarán a una salida de pulsos de tipo colector abierto de 24 VDC.

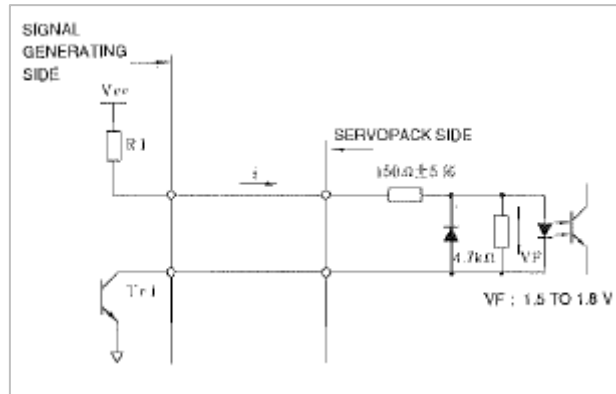


Figura 55. Esquema filtro de ruido.

El rango de corriente permitido que debe entrar en las señales de pulsos del SERVODRIVE, para un correcto funcionamiento del sistema, será de 6,6-15,3 mA. Por lo tanto, habrá que calcular el valor de R1 para que la corriente que entre al SERVODRIVE esté dentro del rango de corriente admisible por dicho dispositivo. También se debe tener en cuenta que la frecuencia máxima admisible del tren de pulsos que va a recibir el SERVODRIVE, en sus entradas de pulsos, debe ser de $450 \text{ Kpps} = 450 \text{ KHz}$.

Las señales de entrada normales tendrán el siguiente circuito interno:

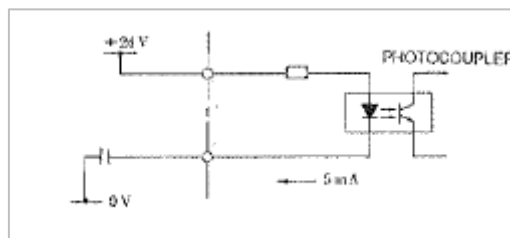


Figura 56. Circuito interno de señales de entrada.

La corriente de entrada debe ser de 5 mA, aproximadamente.

- Señales de salida

Tendremos señales de salida de dos tipos: señales de salida de 24 VDC, como es el caso de las señales COIN y ALM, y señales de salida tipo line driver, como es el caso de la señal PCO.

Las señales de salida tipo 24 VDC podrán recibir una tensión máxima de hasta 30 VDC y proporcionar una corriente máxima de hasta 50 mA.

A continuación se muestra, como ejemplo, la conexión de la señal de salida de alarma (ALM):

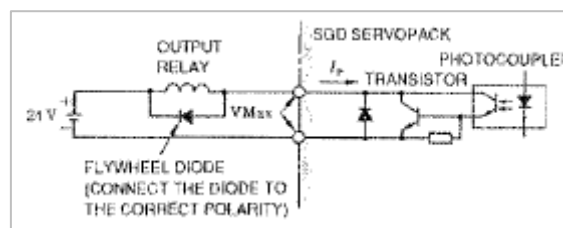


Figura 57. Conexión de la señal salida.

Finalmente, para poder adaptar las señales de salidas de pulsos del módulo de pulsos MD211 a las señales de entrada de pulsos del SERVODRIVE, tendremos que calcular el valor de la resistencia de colector abierto (R1) de la salida de pulsos para que la corriente que circula desde la señal de salida de pulsos hasta la señal de entrada de pulsos, esté dentro del rango de corriente admisible de ambos dispositivos.

Los rangos de corriente, vistos anteriormente, para el cálculo de la resistencia limitadora en las señales de pulsos son:

· Señal de salida de pulsos módulo MD211: 7-30 mA

· Señal de entrada de pulsos SERVODRIVE: 6,6-15,3 mA

Una vez visto los rangos de corrientes, intentaremos coger un valor de R1 que nos permita obtener un valor de corriente, aproximadamente, de 9 mA que se encuentra dentro de ambos rangos. Para ello se ha comprobado experimentalmente que la caída de tensión en el transistor de las salidas de

pulsos OUT00 y OUT04 es de 11,1 V y la caída de tensión en la salida OUT02 es de 0,2 V. Por tanto, las resistencias limitadoras de ambas salidas son distintas.

El circuito de las señales de pulsos será:

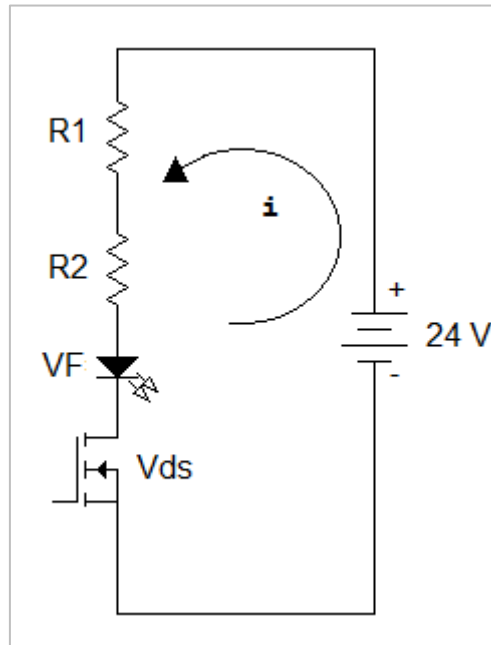


Figura 58. Circuito de las señales de pulso.

Para las señales de salida de pulsos OUT00 (pulse output 0) y OUT04 (Error counter reset output) sabemos que: $V_F = 1,6 \text{ V}$, $R_2 = 150\Omega$ y $V_{ds} (\text{ON}) = 11,1 \text{ V}$. Por lo tanto, analizando la ecuación de la rama para una corriente mayor de 7 mA y menor de 15,3 mA obtendremos el siguiente valor de R_1 :

La ecuación de la malla principal será:

$$24V = V_F + i \cdot R + V_{ds}$$

La corriente de la malla debe cumplir que:

$$i = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{R_1} > 7 \text{ mA}$$

$$i = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{R1} < 15,3 \text{ mA}$$

Despejando R1

$$R1 = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{i} = \frac{24 - 1,6 - 11,1}{7 \text{ m}} < 1614 \Omega$$

$$R1 = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{i} = \frac{24 - 1,6 - 11,1}{15,3 \text{ m}} > 738,56 \Omega$$

Tomaremos un valor de R1 dentro de dicho rango $738,56 \Omega < R1 < 1614 \Omega$, como por ejemplo: $R1 = 1,2 \text{ k}\Omega$.

La corriente que circulará por la malla será de:

$$i = \frac{24 - 1,6 - 11,1}{1200} = 9,41 \text{ mA}$$

La potencia de la resistencia R1 deberá ser de:

$$P_{R1} = i^2 \cdot R = (9,41 \text{ m})^2 \cdot 1,2 \text{ k} = 106 \text{ mW}$$

Tomaremos una resistencia **R1=1,2k Ω /0,25W**

Para la señal de salida de pulsos OUT02 (direction output 0) sabemos que: $V_F = 1,6 \text{ V}$, $R2 = 150 \Omega$ y $V_{ds} (\text{ON}) = 0,2 \text{ V}$. Por lo tanto, analizando la ecuación de la rama para una corriente mayor de 7 mA y menor de $15,3 \text{ mA}$ obtendremos el siguiente valor de R1:

La ecuación de la malla principal será:

$$24V = V_F + i \cdot R + V_{ds}$$

La corriente de la malla debe cumplir que:

$$i = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{R1} > 7 \text{ mA}$$

$$i = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{R1} < 15,3 \text{ mA}$$

Despejando R1

$$R1 = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{i} = \frac{24 - 1,6 - 0,2}{7 \text{ m}} < 3171,42 \Omega$$

$$R1 = \frac{24 - V_F - V_{ds}}{i} = \frac{24 - 1,6 - 0,2}{15,3 \text{ m}} > 1450,98 \Omega$$

Tomaremos un valor de R1 dentro de dicho rango $1450,98 \Omega < R1 < 3171,42 \Omega$, como por ejemplo: **R1 = 2,2 kΩ**.

La corriente que circulará por la malla será de:

$$i = \frac{24 - 1,6 - 0,2}{2200} = 10,09 \text{ mA}$$

La potencia de la resistencia R1 deberá ser de:

$$P_{R1} = i^2 \cdot R = (10,09 \text{ m})^2 \cdot 2,2 \text{ k} = 224 \text{ mW}$$

Tomaremos una resistencia **R1=2,2k Ω/0,25W**

3.4.5 CONEXIONADO MÓDULO DE PULSOS – SERVODRIVE

Para poder realizar el conexionado, de las señales de control, entre el módulo de pulsos y el SERVODRIVE habrá que hacer uso del conector C1N, que se conectará al servodrive y que se muestra en la siguiente figura:



Figura 59. Conector C1N.

Las señales de E/S del módulo de pulsos se sacarán del conector que trae dicho módulo:

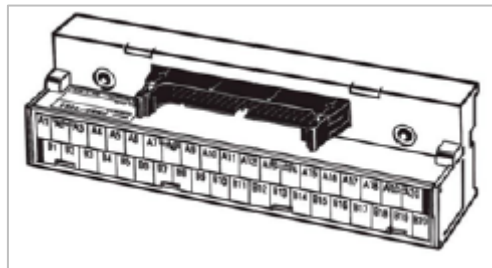


Figura 60. Conector del módulo.

Dicho conector trae identificados, por letras y números, en que número de pin se encuentra cada señal. La relación señal-número de pin se muestra en la siguiente tabla:

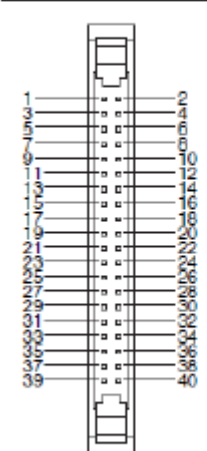
Pin layout	Terminal symbol	Input signal type	Pin	*	Terminal symbol	Input signal type	Pin	*	
	IN00/IN10	24 VDC	1	A1	IN01/IN11	24 VDC	2	B1	
		LD+	3	A2		LD+	4	B2	
		0 V/LD-	5	A3		0 V/LD-	6	B3	
	IN02/IN12	24 VDC	7	A4	IN03/IN13	24 VDC	8	B4	
		LD+	9	A5		LD+	10	B5	
		0 V/LD-	11	A6		0 V/LD-	12	B6	
	IN04/IN14	24 VDC	13	A7	IN05/IN15	24 VDC	14	B7	
		LD+	15	A8		LD+	16	B8	
		0 V/LD-	17	A9		0 V/LD-	18	B9	
	IN06/IN16	24 VDC	19	A10	IN07/IN17	24 VDC	20	B10	
		LD+	21	A11		LD+	22	B11	
		0 V/LD-	23	A12		0 V/LD-	24	B12	
	IN08/IN18	24 VDC	25	A13	IN09/IN19	24 VDC	26	B13	
		LD+	27	A14		LD+	28	B14	
		0 V/LD-	29	A15		0 V/LD-	30	B15	
	OUT00/OUT10	---	---	31	A16	OUT01/OUT11	---	32	B16
	OUT02/OUT12	---	---	33	A17	OUT03/OUT13	---	34	B17
	OUT04/OUT14	---	---	35	A18	OUT05/OUT15	---	36	B18
	Power supply input +V for outputs	---	---	37	A19	Power supply input +V for outputs	---	38	B19
	COM	---	---	39	A20	COM	---	40	B20

Tabla 15. Identificación de pines del conector.

Siguiendo la numeración correspondiente para cada una de las señales, se realizará la conexión necesaria para la correcta comunicación entre los dispositivos.

A continuación se muestra el conexionado entre el módulo de pulsos y el SERVODRIVE, en función de las señales de E/S que van a ser usadas de ambos dispositivos:

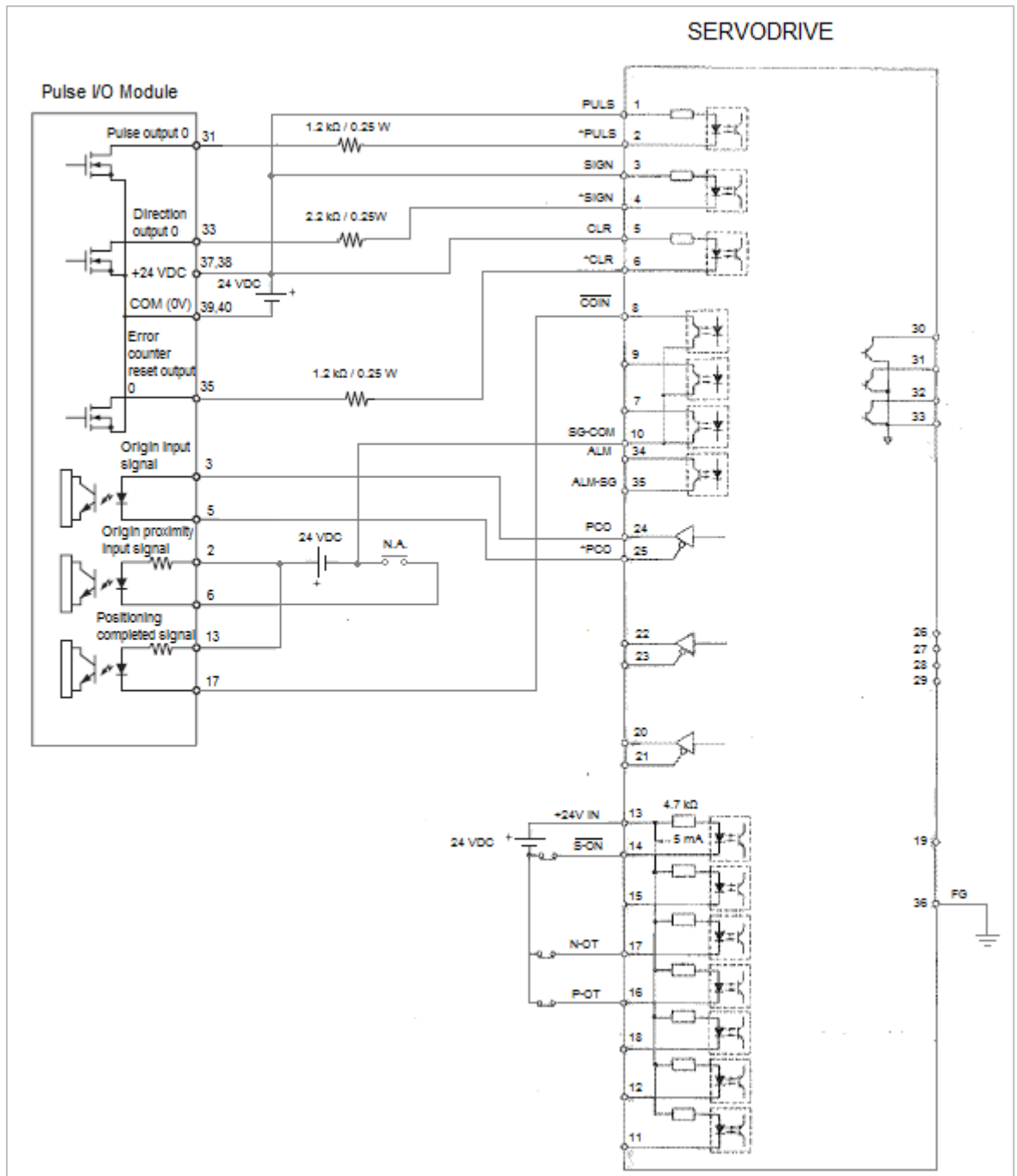


Figura 61. Esquema de conexionado módulo de pulsos - servodrive.

3.4.6 CONEXIONADO ENCODER – SERVODRIVE

Para realizar la conexión entre el encoder y el SERVODRIVE hay que usar el conector C2N. Se trata de un conector MDR de 20 pines que consta 9 conductores de tamaño 22 AWG blindados mediante una funda.

El otro extremo del cable cuenta de un conector AMP de 9 pines que se conecta en el conector del encoder en el motor.

Las siguientes figura muestra el conector del encoder al motor y el conector del encoder al SERVODRIVE:



Figura 62. Conector C2N.

3.4.7 CONEXIONADO SERVOMOTOR – SERVODRIVE

El conexionado de las fases y la tierra del servomotor al servodrive se realizará de la siguiente manera:

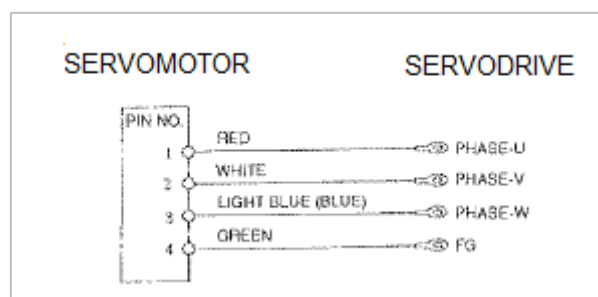


Figura 63. Conexionado servomotor - servodrive.

Como podemos observar en la foto, vemos que el cable rojo será la fase U del motor, el cable blanco la fase V, el cable azul la fase W y el cable verde será la tierra del motor.

3.5 PROGRAMACIÓN DEL PLC

3.5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

El presente proyecto plantea una maqueta o módulo de entrenamiento para la realización de prácticas y pruebas para el alumnado de estudios técnicos. Es por ello que se desea facilitar todo lo posible el proceso de creación de programas si éste quisiera modificarlo por cualquier razón. A priori, el usuario no debería de modificar la programación del PLC y, con ello, modificar la interfaz del SCADA.

Aún así, a continuación se detallan los suficientes conceptos teóricos para realizar la programación del PLC y ejecutar las modificaciones que el alumno en este caso, creyera convenientes. En el anexo II: *Documentación del código PLC*, se detalla minuciosamente la programación del autómeta.

El requisito necesario y, casi indispensable, es que el alumno realice estas modificaciones previo estudio tanto de instrucciones, símbolos, puntos y demás conceptos claves de la programación en el software CX-Programmer, así como unos conocimientos sólidos sobre los distintos tipos de control de servomotores que son objeto de estudio en éste módulo de entrenamiento.

3.5.2 INSTRUCCIONES

Para la programación del PLC han sido necesarias multitud de instrucciones de diversa índole. Dada la importancia de las instrucciones de movimiento empleadas conviene dar algunas nociones básicas de su funcionamiento.

- Instrucción ORG: Ejecuta una operación de búsqueda de origen o de vuelta al origen.
 - Búsqueda de origen: La salida de impulsos se realiza empleando el método especificado para accionar efectivamente el motor y

establecer el origen en función de las señales de entrada de proximidad de origen o de entrada de origen.

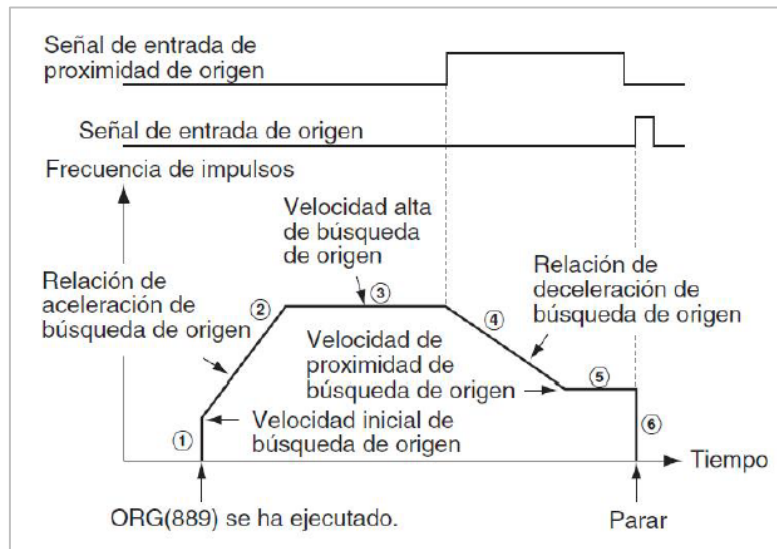


Figura 64. Búsqueda de origen.

- o Retorno de origen: El sistema de posicionamiento vuelve al origen establecido anteriormente.

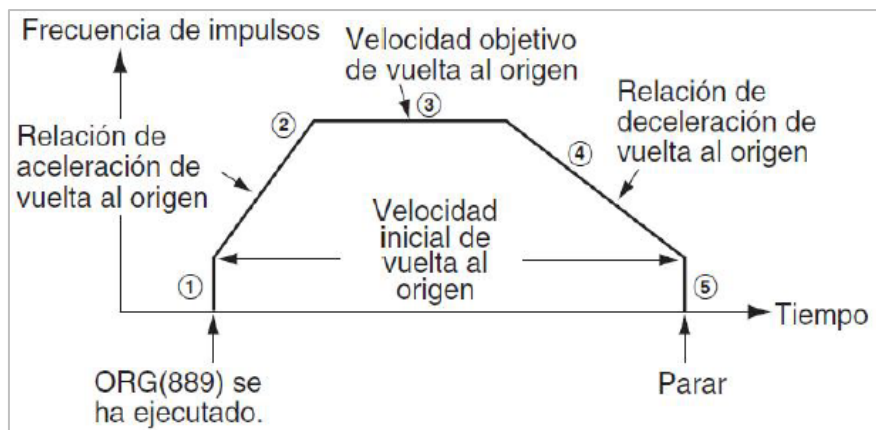


Figura 65. Retorno a origen.

- Instrucción PULS: Se utiliza para establecer el número de impulsos de salida de las salidas arrancadas con SPED o ACC en modo independiente.
- Instrucción ACC: Ejecuta la salida de impulsos al puerto de salida especificado, y a la frecuencia y velocidad de aceleración y deceleración

especificadas. (La velocidad de aceleración es idéntica a la velocidad de deceleración). Es posible tanto el control de velocidad (modo continuo) como el control de posición (modo independiente). Para el posicionamiento se utiliza ACC en combinación con PULS. ACC también puede ejecutarse durante la salida de impulsos para cambiar la frecuencia objetivo o la velocidad de aceleración/deceleración, permitiendo así cambios de velocidad graduales.

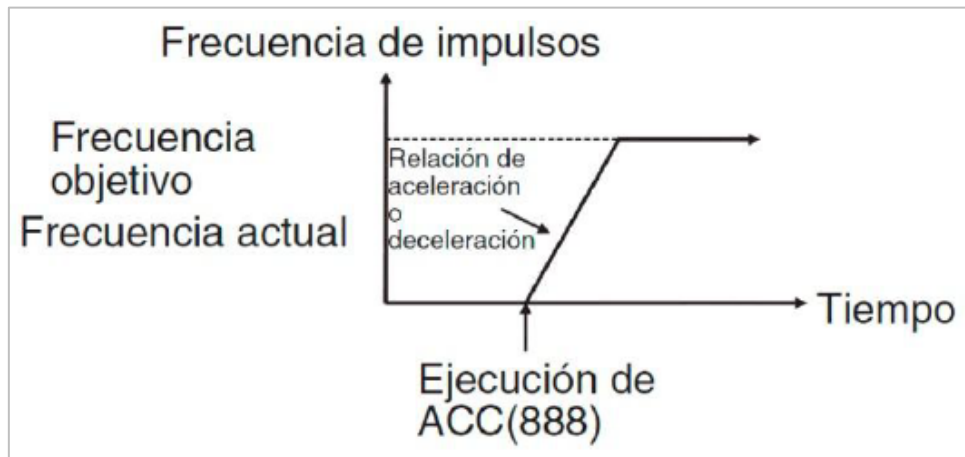


Figura 66. Instrucción ACC. Modo continuo.

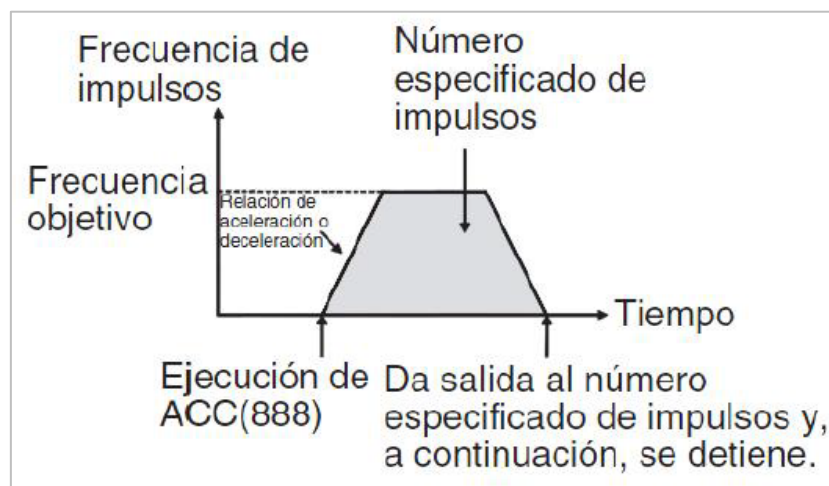


Figura 67. Instrucción ACC. Modo independiente.

- Instrucción INI: Entre otras funciones permite:
 - Cambiar el valor actual de la salida de impulsos (origen fijado en 0).
 - Detener la salida de impulsos de forma inmediata.

- **Instrucción SPED:** Se utiliza para configurar la frecuencia de impulsos de salida de un determinado puerto e iniciar la salida de impulsos sin aceleración ni deceleración. Es posible tanto el control de velocidad en modo continuo como el posicionamiento en modo independiente. Para el posicionamiento en modo independiente, el número de impulsos se configura utilizando la instrucción PULS. SPED también puede ejecutarse durante la salida de impulsos para cambiar la frecuencia de salida, creando cambios progresivos en la velocidad.

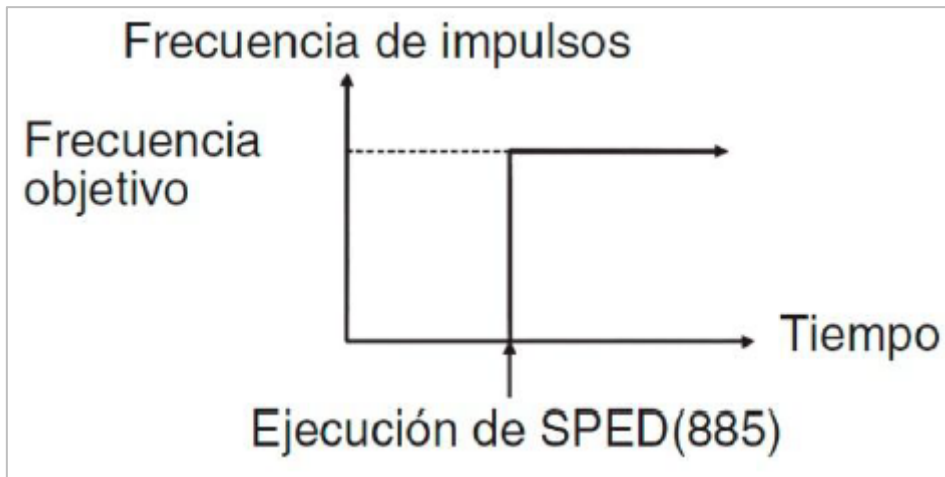


Figura 68. Instrucción SPED. Modo continuo.

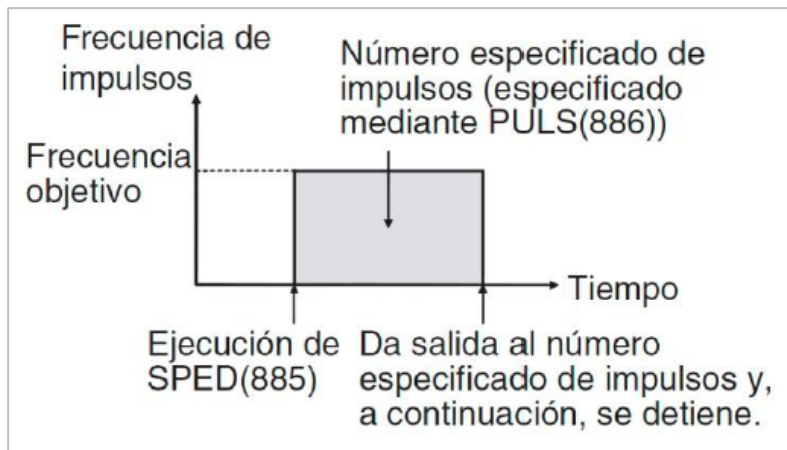


Figura 69. Instrucción SPED. Modo independiente.

3.5.3 PROGRAMAS Y SECCIONES

El programa principal se descompone en subprogramas denominados secciones, que hacen el programa más legible. Éstas se ejecutan por orden de aparición en el árbol de proyecto, es decir, de arriba hacia abajo. Las secciones que se han definido son:

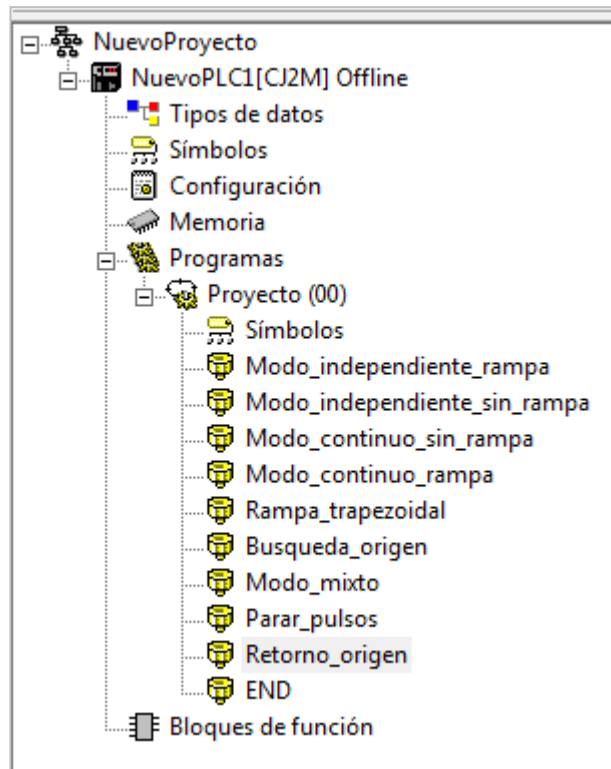


Figura 70. Estructura del programa.

- Modo independiente rampa: Mediante esta sección se habilitará el modo de control de posición provocando rampas de aceleración y deceleración. De esta forma el motor realizará un posicionado suave.
- Modo independiente sin rampa: Mediante esta sección se habilitará el modo control de posición sin provocar rampas de aceleración y deceleración. De esta forma el motor realizará un posicionado brusco.
- Modo continuo sin rampa: Mediante esta sección se habilitará el modo de control de velocidad sin provocar rampas de aceleración o deceleración entre los distintos cambios de velocidad que se realicen. De esta forma se obtienen cambios de velocidad bruscos en el servomotor.

- Modo continuo con rampa: Mediante esta sección se habilitará el modo de control de velocidad provocando rampas de aceleración o deceleración entre los distintos cambios de velocidad que se realicen. De esta forma obtienen cambios de velocidad suaves en el servomotor.
- Rampa trapezoidal: Mediante esta sección se habilitará el modo de control de posición bastante particular, el cual permite obtener un posicionado del servomotor en el que los cambios de velocidad provocados en el mismo dan lugar a una figura de tipo trapezoidal.
- Búsqueda origen: Mediante esta sección se habilitará la función de búsqueda del origen del servomotor. De esta forma el servomotor empezará a moverse en un sentido hasta que detecte el sensor de proximidad y, finalmente, pueda alcanzar su posición inicial o de origen.
- Modo mixto: Mediante esta sección se habilitará el modo de control mixto, con el que tendremos una mezcla entre control de velocidad y control de posición.
- Parar pulsos: Mediante esta sección se podrá detener la salida de pulsos y evitar que sigan saliendo pulsos por la misma.
- Retorno al origen: Esta sección permitirá que el servomotor pueda retornar al origen de referencia siempre y cuando, previamente, haya sido establecido dicho origen en la búsqueda del origen. Se utilizará cuando se realice un desplazamiento del eje del servomotor a través de una instrucción de posicionado y, posteriormente, se desee retornar a dicho origen de referencia
- END: Es la instrucción que cierra el programa y finaliza la sección. Es imprescindible su uso para el correcto funcionamiento del programa.

3.5.4 SÍMBOLOS

Las direcciones del área de memoria I/O (entradas y salidas) o las constantes pueden ser especificadas usando cadenas de texto, registrando estas cadenas como símbolos. Esto permite programar con nombres y despreocuparse de las direcciones de memoria [26].

Existen tres tipos de símbolos:

- Globales: Pueden accederse desde cualquier tarea.
- Locales: Pueden accederse solo desde la tarea en la que están definidos.
- De red: Pueden accederse desde dispositivos externos.

Para este proyecto se han usado símbolos globales, que se muestran en la siguiente tabla:

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN	COMENTARIO
Mod_indep_sin_rampaCW	BOOL	0.00	Activa modo independiente sin rampa en sentido CW
Mod_indep_sin_rampaCCW	BOOL	0.01	Activa modo independiente sin rampa en sentido CCW
in_limCW	BOOL	0.02	Entrada del sensor del límite CW
in_limCCW	BOOL	0.03	Entrada del sensor del límite CCW
Mod_cont_sin_rampaCW	BOOL	0.04	Activa modo continuo sin rampa en sentido CW
Mod_cont_sin_rampaCCW	BOOL	0.05	Activa modo continuo sin rampa en sentido CCW
Parar_pulsos	BOOL	0.06	Parar los trenes de pulsos de salida
Mod_cont_con_rampaCW	BOOL	0.07	Activa modo continuo con rampa en sentido CW
Mod_cont_con_rampaCCW	BOOL	0.08	Activa modo continuo con rampa en sentido CCW
Rampa_trap_CW	BOOL	0.10	Activa modo independiente con rampa trapezoidal en sentido CW
Rampa_trap_CCW	BOOL	0.11	Activa modo independiente con rampa trapezoidal en sentido CCW
Mod_indep_con_rampaCW	BOOL	0.12	Activa modo independiente con rampa en sentido CW
Mod_indep_con_rampaCCW	BOOL	0.13	Activa modo independiente con rampa en sentido CCW
Busca_orig	BOOL	0.14	Activa la búsqueda del origen
Modo_mixto	BOOL	0.15	Activa el modo de control mixto

Interrupcion	BOOL	2960.03	Activa la interrupción del modo de control mixto
Ret_orig	BOOL	2960.06	Activa el retorno al origen
limCW	BOOL	A540.08	Sensor de límite CW
limCCW	BOOL	A540.09	Sensor de límite CCW
puls_mod_indep_rampa	CHANNEL	D100	Pulsos en el modo independiente con rampa
frec_mod_indep_rampa	CHANNEL	D102	Frecuencia en el modo independiente con rampa
puls_mod_indep_no_rampa	CHANNEL	D105	Pulsos en el modo independiente sin rampa
frec_mod_indep_no_rampa	CHANNEL	D107	Frecuencia en el modo independiente sin rampa
frec_mod_cont_no_rampa	CHANNEL	D109	Frecuencia en el modo continuo sin rampa
frec_mod_cont_rampa	CHANNEL	D111	Frecuencia en el modo continuo con rampa
frec_inic_rampa_trap	CHANNEL	D114	Frecuencia inicial en el modo independiente con rampa trapezoidal
param_ramp_trap	CHANNEL	D120	Parámetros del modo independiente con rampa trapezoidal
param_mod_mixto_vel	CHANNEL	D122	Parámetros del modo de control de velocidad en el modo de control mixto
param_mod_mixto_posic	CHANNEL	D131	Parámetros del modo de control de posición en el modo de control mixto

Tabla 16. Símbolos.

3.5.5 ÁREAS DE MEMORIA

El PLC cuenta con las siguientes áreas de memoria [26]:

- Área de programa de usuario: contiene el código del programa creado por el usuario.
- Área de bloques de funciones: contiene las definiciones de los bloques de funciones.
- Área de parámetros: contiene las configuraciones iniciales del PLC.
- Áreas de memoria de entrada y salida: se usan para leer y escribir desde el programa de usuario.
- Áreas de código fuente y comentarios: contienen el código fuente del programa y los comentarios usados.

En la siguiente tabla se recogen las distintas áreas de memoria de entrada y salidas del PLC:

Área	Descripción	Clasificación
CIO <i>Entradas/Salidas</i>	Las palabras de esta área se usan para el intercambio de datos, tales como el refresco de E/S con varias unidades. Al apagar el PLC no retienen su valor	I/O Área
		Special I/O Unit Área
		Pulse I/O Área
		Internal I/O Área
Work (W) <i>Trabajo</i>	Las palabras de esta área solo se pueden usar en el programa. Al apagar el PLC no retienen su valor	
Auxiliar (A)	Contiene las banderas y los bits de control usados para monitorizar y controlar el PLC.	
Data Memoria (DM) <i>Memoria de datos</i>	Es un área de datos multiusos. Puede leerse y escribirse tanto a nivel de palabra como de bit. Al apagar el PLC retienen su valor.	
Timer (T) <i>Temporizador</i>	Usado por las instrucciones de temporización. Al apagar el PLC no retiene su valor.	Bandera
		Valor actual
Counter (C) <i>Contador</i>	Usado por las instrucciones de contaje. Al apagar el PLC retiene su valor.	Bandera
		Valor actual
Task Flag (TK) <i>Bandera de tarea</i>	Indica el estado activo / inactivo de cada tarea. Al apagar el PLC no retiene su valor.	
Index Registers (IR) <i>Registros índice</i>	Almacenan las direcciones absolutas de memoria para direccionar palabras indirectamente. Al apagar el PLC no retienen su valor.	
Data Registers (DR) <i>Registros dato</i>	Estos registros se usan para desplazar las direcciones de memoria contenidas en los registros índices (IR) cuando se direcciona de manera indirecta. Al apagar el PLC no retienen su valor.	

Tabla 17. Áreas de memoria.

3.5.6 CONFIGURACIONES

Antes de comenzar a programar es fundamental realizar una serie de configuraciones previas, entre las que podemos citar la asignación de E/S y la configuración del módulo de pulsos entre otras.

La asignación de E/S permite el intercambio de datos entre la CPU y otras unidades como, por ejemplo, la unidad básica de entradas y salidas. Se puede

realizar de dos maneras, manual y automáticamente. Nos centraremos en la asignación automática, ya que es el método que se ha seguido.

Con esta asignación, las entradas y salidas básicas son asignadas a las unidades conectadas conforme a su orden de localización (de izquierda a derecha, empezando por la unidad más cercana a la CPU). Cada unidad es asignada con tantas palabras como se requiera (de la CIO 0000 a la CIO 0159) [26].

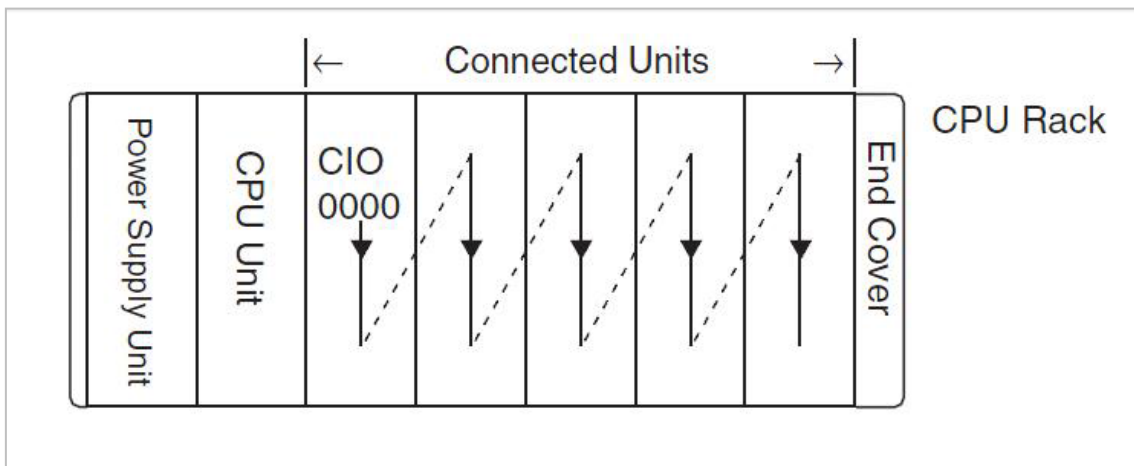


Figura 71. Asignación automática de E/S básicas.

Para nuestros módulos de entradas y salidas digitales quedaría de la siguiente manera:

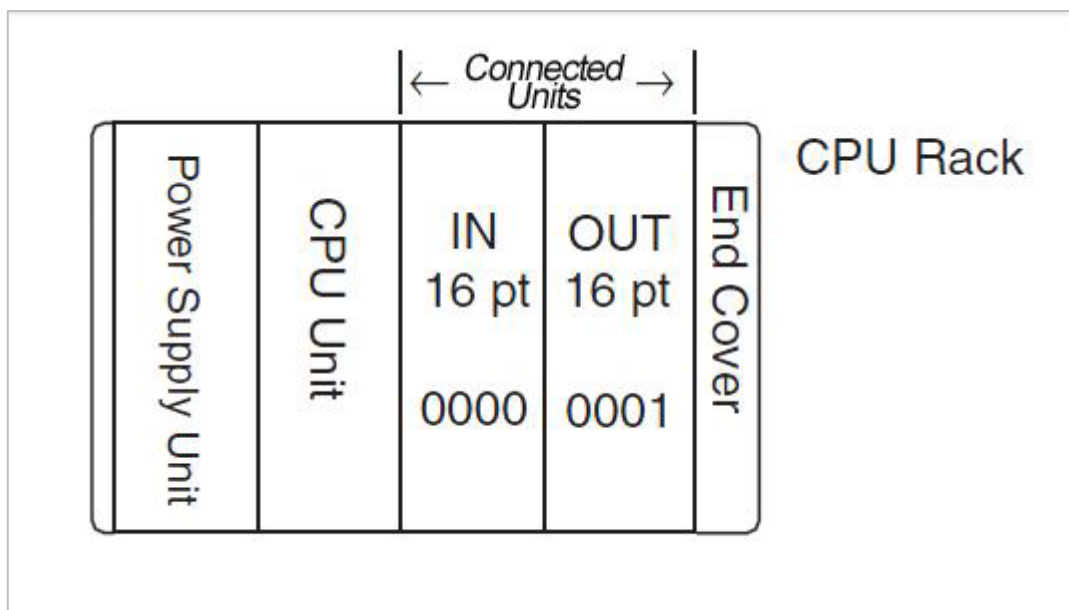


Figura 72. Asignación de los módulos de E/S.

En cuanto al módulo de E/S de pulsos, también es necesario hacer una serie de configuraciones de acuerdo con nuestro sistema, en concreto las correspondientes a las salidas de pulsos, y búsqueda y retorno de origen.

A continuación se muestran las posibles configuraciones del módulo de E/S de pulsos [17].

Ciclo interno de control de pulsos:

- 4 ms
- 1 ms

Selección básica:

- Operación de la señal de entrada Límite (final de carrera):
 - Solo búsqueda de origen. Las señales de entrada Límite CW y CCW son usadas únicamente en una búsqueda de origen.
 - Siempre. Se usan tanto para la búsqueda de origen como para otras funciones.
- Tipo de señal de entrada Límite (final de carrera):
 - Normalmente cerrado (NC).
 - Normalmente abierto (NA).
- Borrar origen con la señal de entrada Límite (final de carrera):
 - Retener origen. Tras detectar la señal, la salida de pulsos se detiene y el origen es mantenido.
 - Borrar origen. Tras detectar la señal, la salida de pulsos se detiene y el origen queda indefinido.
- Velocidad inicial de búsqueda/retorno.
- Curva de velocidad:
 - Lineal. Realiza aceleraciones y deceleraciones de tipo trapezoidal.
 - Curva en S. Realiza aceleraciones y deceleraciones en forma de curva en S.

Búsqueda de origen:

- Configuración de búsqueda de origen:
 - Deshabilitado.
 - Habilitado.
- Dirección de búsqueda:
 - CW. La búsqueda comienza en la dirección del sentido horario.

- CCW. La búsqueda comienza en la dirección del sentido antihorario.
- Detección de origen tras la señal de entrada Origen próximo:
 - Primero ON, luego OFF. La señal de entrada En origen (Fase Z) es aceptada cuando la señal de entrada Origen próximo cambia a ON y luego a OFF.
 - ON. La señal de entrada En origen (Fase Z) es aceptada cuando la señal de entrada Origen próximo cambia a ON
 - Señal Origen próximo no usada. La señal de entrada En origen (Fase Z) es aceptada sin dicha señal.
- Comportamiento tras la detección de la señal de entrada Límite:
 - Invertir. La dirección de búsqueda se invierte.
 - Parar con error. Ocurre un error y la operación es interrumpida.
- Modo de operación:
 - Motor paso a paso.
 - Servomotor.
 - Servomotor con entrada INP (posición completada).
- Tipo de señal de entrada En origen:
 - Normalmente cerrado (NC).
 - Normalmente abierto (NA).
- Tipo de señal de entrada Origen próximo:
 - Normalmente cerrado (NC).
 - Normalmente abierto (NA).
- Alta velocidad: establece la velocidad objetivo del motor cuando se ejecuta una búsqueda de origen.
- Velocidad de proximidad: establece la velocidad del motor cuando es detectada la señal de entrada Origen próximo.
- Valor de corrección: Permite hacer una compensación en caso de haber algún tipo de desajuste.
- Rampa de aceleración.
- Rampa de deceleración.

Retorno a origen:

- Velocidad objetivo: establece la velocidad objetivo del motor cuando se ejecuta un retorno a origen.
- Rampa de aceleración.
- Rampa de deceleración.

Configuración detallada de salidas de pulsos y búsquedas de origen

Elemento		Salida de pulsos 0	Salida de pulsos 1	Salida de pulsos 2	S
Selección básica	Operación límite señal de entrada	*Sólo búsqueda	*Sólo búsqueda	*Sólo búsqueda	*S
	Tipo señal de entrada límite	NA (normalmente abierta)	*NC (normalmente cerrada)	*NC (normalmente cerrada)	*NC
	Borrar origen en señal de entrada	*Retener origen	*Retener origen	*Retener origen	*Retener
	Velocidad inicial de búsqueda/ret	20	0	0	0
	Curva de velocidad	*Lineal	*Lineal	*Lineal	*Lineal
Búsqueda de origen	Configuración de búsqueda de origen	Habilitar	*Desactivar	*Desactivar	*Desactivar
	Dirección de búsqueda	*CW	*CW	*CW	*CW
	Origen detectado después de entrada	0: Activa y, a continuación	0: Activa y, a continuación	0: Activa y, a continuación	0: Activa y, a continuación
	Búsqueda de origen en entrada límite	*0: Inversa	*0: Inversa	*0: Inversa	*0: Inversa
	Modo de operación	Modo 2: Servomotor	*Modo 0: motor paso a paso	*Modo 0: motor paso a paso	*Modo 0: motor paso a paso
	-Salida de reset de contador de posición	Salida	Sin salida	Sin salida	Sin salida
	-Entrada de posición	Usar	No usar	No usar	No usar
	Tipo de señal de entrada de origen	NA (normalmente abierta)	*NC (normalmente cerrada)	*NC (normalmente cerrada)	*NC (normalmente cerrada)
	Tipo de señal de entrada de proximidad	NA (normalmente abierta)	*NC (normalmente cerrada)	*NC (normalmente cerrada)	*NC (normalmente cerrada)
	Alta velocidad (pps)	1000	0	0	0
	Velocidad de proximidad (pps)	100	0	0	0
	Valor de corrección	0	0	0	0
	Velocidad de aceleración	15	0	0	0
	Velocidad de deceleración	5	0	0	0
	Tiempo de monitorización de posición	0	0	0	0
Retorno a origen	Velocidad destino (pps)	2000	0	0	0
	Velocidad de aceleración	15	0	0	0
	Velocidad de deceleración	15	0	0	0

La configuración predeterminada se indica mediante asteriscos.

Ciclo de control de pulsos internos: *4 ms 1 ms

Copiar configuración de salida de pulsos

Copiar

Predeterminado

Ayuda

Aceptar

Cancelar

Figura 73. Salidas de pulsos y búsquedas de origen.

Por lo tanto, la ventana de configuración de E/S del módulo de pulsos quedará predeterminada automáticamente de la siguiente manera, al haber configurado la salida de pulsos 0 como se muestra en la figura anterior.

Asignaciones de módulo de E/S 0	
IN00	Entrada de origen de búsqueda de origen 0
IN01	Entrada de proximidad de búsqueda de origen 0
IN02	Entrada normal 02
IN03	Entrada de interrupción 3 (tarea de interrupción 143)
IN04	Posicionamiento de búsqueda de origen 0 completa
IN05	Entrada normal 05
IN06	Entrada normal 06
IN07	Entrada normal 07
IN08	Entrada normal 08
IN09	Entrada normal 09
OUT00	Salida normal 00/Salida de pulsos
OUT01	Salida normal 01/Salida de pulsos
OUT02	Salida normal 02/Salida de pulsos
OUT03	Salida normal 03/Salida de pulsos
OUT04	Reset de contador de errores de búsqueda de origen
OUT05	Salida normal 05/Salida PWM 1

Figura 74. Asignación del módulo de E/S.

NOTA: La entrada IN03 ha sido la única que se ha configurado manualmente, como entrada de interrupción, puesto que es necesaria usarla como entrada de interrupción para el modo de control mixto.

3.5.7 BÚSQUEDA DE ORIGEN

Para establecer un origen de coordenadas a partir del cual todos los movimientos sean relativos a éste, es necesario realizar cada vez que se inicie el sistema, una búsqueda de origen.

La búsqueda de origen se puede realizar de las tres maneras siguientes:

		Modo 0	Modo 1	Modo 2
Dispositivos		Motor paso a paso	Servodrive	
		Un sensor de proximidad de origen y un sensor de origen	Un sensor de proximidad de origen y la señal Phase-Z procedente del servodrive.	
Operación		El movimiento es decelerado cuando se recibe la señal de proximidad de origen, y la búsqueda se finaliza cuando se recibe la señal de origen.	Después de la deceleración por la señal de proximidad de origen, el movimiento cesa al recibir la señal Phase-Z del servodrive. Es aquí cuando se activa la señal de salida de reseteo del contador de errores. La señal Phase-Z es ignorada durante la deceleración	Exactamente igual que el modo 2, excepto que la búsqueda finaliza cuando se recibe la señal de posición completada del servodrive.
Señales de E/S	Proximidad de origen	Se conecta a un sensor de detección de posición.		
	En origen	Se conecta a un sensor de detección de posición.	Se conecta a la señal de salida Phase-Z del servodrive	
	Reseteo de contador de errores		Se conecta a la entrada de reseteo del contador de errores del servodrive	
	Posición completada			Se conecta a la salida de señal de posición completada del servodrive.

Tabla 18. Modos de búsqueda automática de origen.

Se ha visto conveniente usar en nuestro sistema el modo 2, el cual hace uso de la señal Phase-Z y de la posición completada procedentes del servodrive [17].

El siguiente diagrama muestra cómo se realiza la operación de búsqueda de origen:

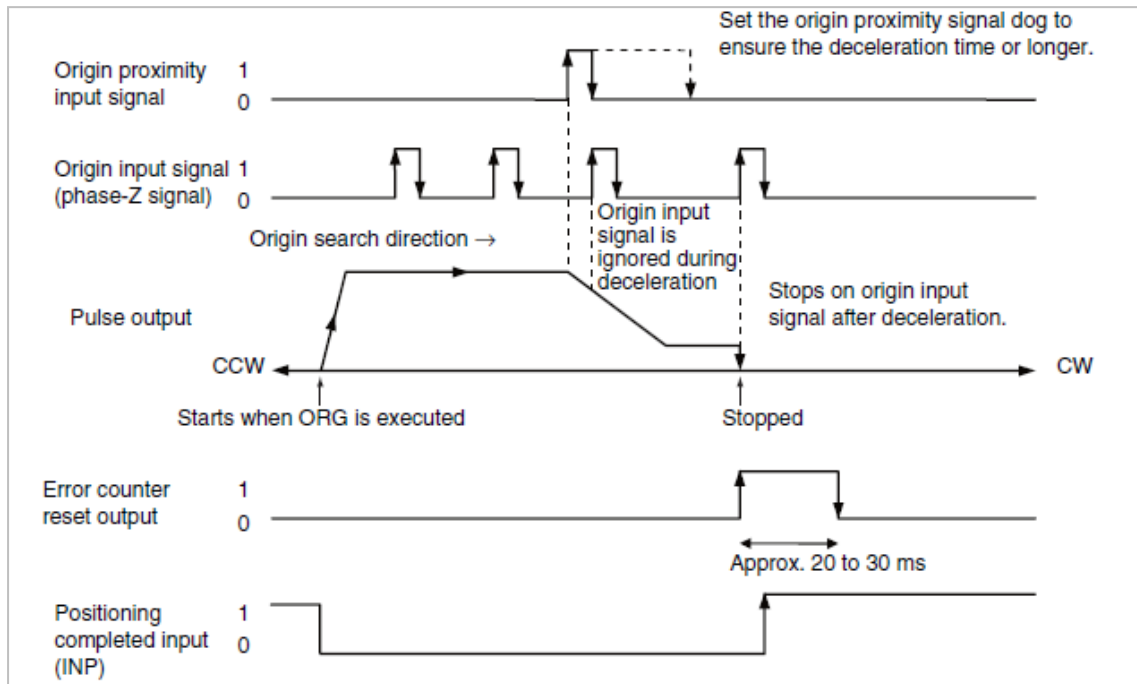


Figura 75. Operación de búsqueda de origen.

Además, se ha configurado de tal manera que si se detecta la señal de final de carrera en la dirección de búsqueda, se detiene, se invierte el sentido y continúa la búsqueda de origen.

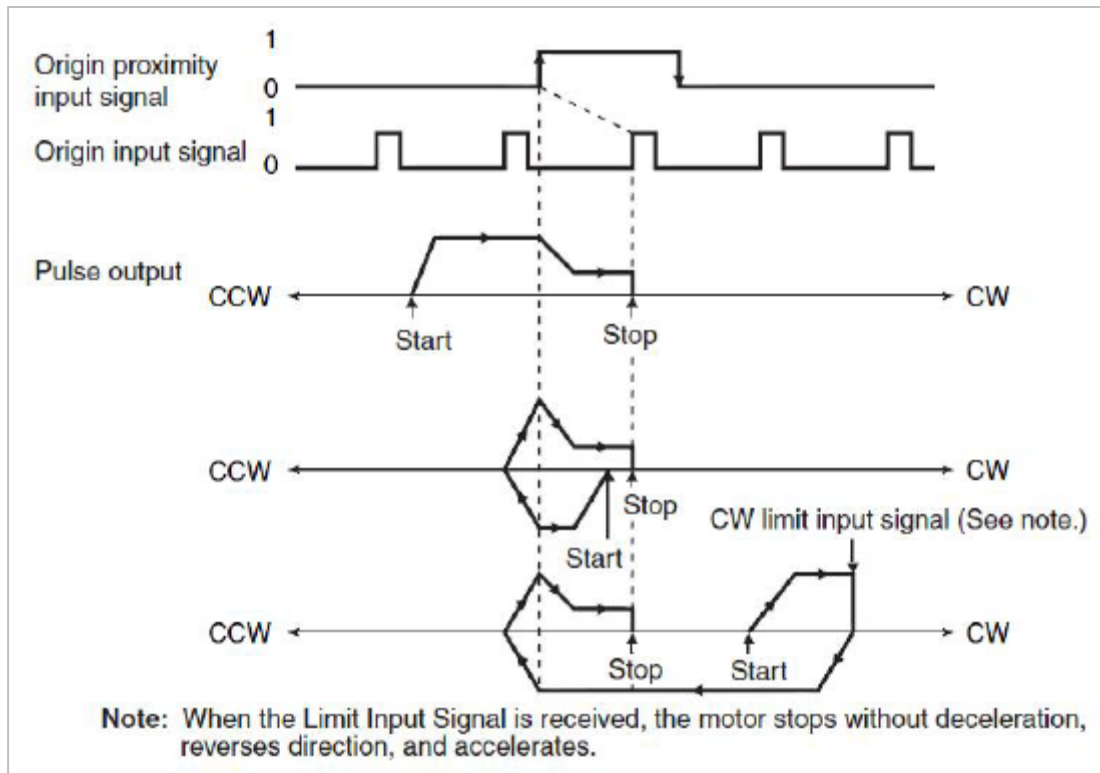


Figura 76. Inversión de sentido durante la búsqueda de origen.

A continuación se muestra cómo deben hacerse las conexiones para que la búsqueda de origen se realice según se ha comentado anteriormente.

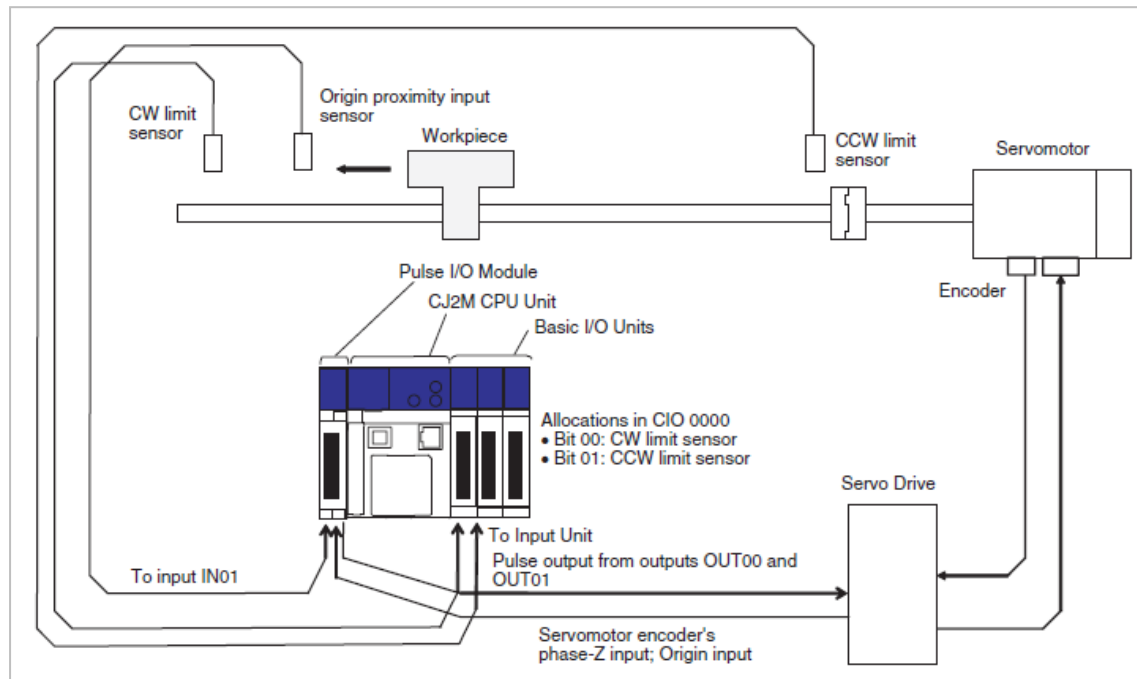


Figura 77. Conexiones

3.6 DISEÑO DEL SCADA Y HMI

La interfaz de usuario que se ha desarrollado es totalmente gráfica e intuitiva, con el fin de que cualquier operador pueda entender y controlar fácilmente el módulo de entrenamiento sin necesidad de ninguna preparación previa.

Es posible distinguir entre seis pantallas distintas: INICIO, CONTROL DE VELOCIDAD, CONTROL DE POSICIÓN, CONTROL MIXTO, BÚSQUEDA DE ORIGEN Y SIMULACIÓN. A continuación se describe la función de cada una de ellas.

- **Pantalla INICIO:** Es la pantalla que se carga por defecto al ejecutar la aplicación. Muestra un esquema del módulo de entrenamiento con sus principales elementos y permite consultar de forma rápida y sencilla los manuales o las especificaciones de cada uno de ellos, incluso permite visualizar varios vídeos de demostración sobre el control de servomotores.
- **Pantalla CONTROL DE VELOCIDAD:** En esta pantalla, el usuario podrá adquirir y aplicar los conocimientos necesarios sobre el método de control de velocidad de servomotores, y podrá variar la velocidad de

dichos servomotores mediante la modificación de ciertos parámetros de configuración.

- Pantalla CONTROL DE POSICIÓN: Esta pantalla permite al usuario el estudio y comprensión del método de control de posición de servomotores. Este estudio se hará mediante la modificación de diversos parámetros de configuración.
- Pantalla CONTROL MIXTO: Esta pantalla permite al usuario adquirir y aplicar los conocimientos necesarios sobre el método de control mixto de servomotores, el cual engloba a los dos métodos mencionados anteriormente, así como comprender el uso de las interrupciones. Este estudio se hará mediante la modificación de diversos parámetros de configuración
- Pantalla BÚSQUEDA DE ORIGEN: Esta pantalla permite al usuario el estudio y comprensión de una de las funciones más importantes en las máquinas de control de ejes, como es la función de búsqueda del origen.
- Pantalla SIMULACIÓN: Permite simular el funcionamiento de un proceso real tal como es el ensamblado de componentes SMD (máquina *pick & place*) para que el alumno descubra la verdadera utilidad de los servomotores industriales.

En cada una de estas pantallas se muestra además distintas botoneras con las que poder obtener distintas gráficas para su estudio y comprensión, así como la toma real de datos y su posterior almacenamiento en hojas de cálculo.

Para conocer al detalle el funcionamiento y las herramientas de la interfaz de usuario se remite al lector al Anexo I: *Manual de usuario*.

3.6.1 SCRIPTS

CX-Supervisor posibilita la creación de secuencias de comandos (scripts) a través de un editor incorporado en el mismo software. Como se dijo anteriormente, CX-Supervisor permite tanto la creación de scripts propios (*Cx-Supervisor scripts*), como *Java Scripts* o *Visual Basic scripts*.

Un script de CX-Supervisor es un sencillo lenguaje de programación que permite la manipulación de puntos y que pueden ser creados a nivel de objeto, de página y de proyecto [28].

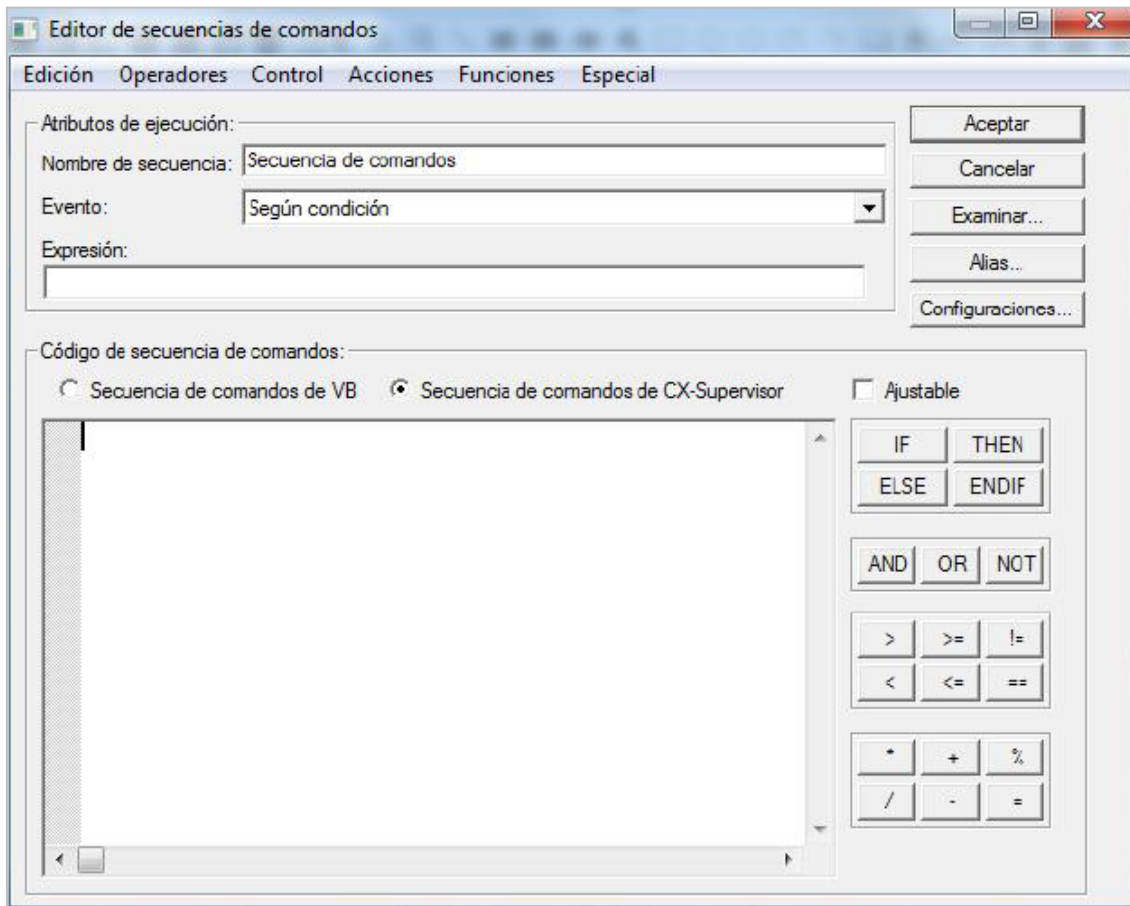


Figura 78. Editor de secuencias de comandos.

Todos los scripts desarrollados en el proyecto son del tipo *CX-Supervisor scripts* y se muestran documentados en el anexo III: *Documentación de los scripts*.

3.6.2 REGISTRO DE DATOS

CX-Supervisor incorpora una herramienta para el registro de datos (data logging), la cual nos permite:

- Definir un número de puntos o expresiones que serán registrados en runtime.
- Visualizar estos datos en runtime o en evaluaciones futuras.
- Exportar datos a otras aplicaciones (Excel, etc.)
- Analizar las tendencias en los procesos.
- Monitorizar la eficiencia de las máquinas.
- Optimizar el mantenimiento de equipos.

Algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta del registro de datos son:

- Un elemento (ítem) es un dato a registrar y sus propiedades de registro. El desarrollador decide qué eventos se registran utilizando el editor de registro de datos.
- Los elementos se registran en runtime en uno o más conjuntos de datos (data set), que pueden ser visualizados utilizando el visor de registros de datos.
- Como ayuda a la hora de visualizar, se pueden subdividir los conjuntos de datos en grupos (groups) que agrupan elementos de similares características, que se podrán visualizar solos o junto con otros grupos del conjunto de datos.
- El visor remoto de datos (remote data viewer) permite visualizar los datos independientemente del ejecutable.
- Se puede exportar los datos a otros programas (como por ejemplo Microsoft Excel) utilizando la data log export facility.
- Se pueden utilizar scripts para controlar el proceso.

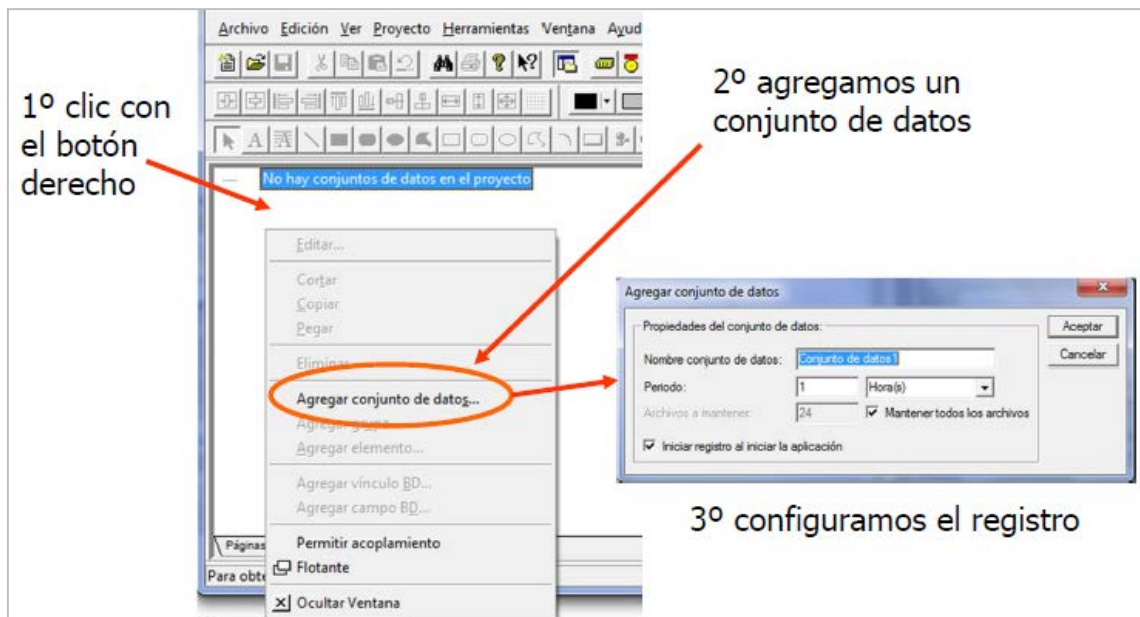


Figura 79. Registro de datos.

3.6.3 PUNTOS

Un punto es una variable usada internamente por CX-Supervisor. Los puntos pueden ser booleanos, enteros, reales o de texto. Además de los puntos creados por el usuario, CX-Supervisor implementa un conjunto de puntos del sistema predefinidos [29].

Los puntos creados para la realización de la interfaz son los siguientes:

Punto	Descripción
aceler	Salida de pulsos 0 con velocidad constante o acelerando/decelerando
adelante	Mueve motor del eje Y de la Pick & Place en sentido CW
atras	Mueve motor del eje Y de la Pick & Place en sentido CCW
cod_error	Código de errores en la búsqueda de origen en salida de pulsos 0
der	Mueve motor del eje X de la Pick & Place en sentido CCW
diag1	Mueve motor eje X y motor eje Y en sentido CW (Pick & Place)
diag2	Mueve motor eje X en sentido CCW y motor eje Y en sentido CW (Pick & Place)
diag3	Mueve motor eje X en sentido CW y motor eje Y en sentido CCW (Pick & Place)
diag4	Mueve motor eje X y motor eje Y en sentido CCW (Pick & Place)
DOWN	Baja el cabezal de la Pick & Place
EjeX	Variable para el movimiento horizontal del eje X (Pick & Place)
EjeY	Variable para el movimiento vertical del eje X (Pick & Place)
error_salida	Indica si existe o no error en la salida de pulsos 0
frec	Frecuencia objetivo en el modo continuo sin rampa
frec_ac	Frecuencia de aceleración/deceleración en el modo continuo con rampa

frec_ac1	Frecuencia de aceleración/deceleración en el modo independiente con rampa
frec_ac2	Frecuencia de aceleración en el modo independiente con rampa trapezoidal
frec_ac3	Frecuencia de aceleración en el modo de control mixto (1)
frec_ac4	Frecuencia de aceleración en el modo de control mixto (2)
frec_dec	Frecuencia de deceleración en el modo independiente con rampa trapezoidal
frec_dec1	Frecuencia de deceleración en el modo de control mixto
frec_inic	Frecuencia de inicio en el modo independiente con rampa trapezoidal
frec_sal1	Frecuencia de pulsos en la salida de pulsos 0
frec1	Frecuencia objetivo en el modo independiente sin rampa
frec2	Frecuencia objetivo en el modo continuo con rampa
frec3	Frecuencia objetivo en el modo independiente con rampa
frec4	Frecuencia objetivo en el modo independiente con rampa trapezoidal
frec5	Frecuencia objetivo en el modo de control mixto (1)
frec6	Frecuencia objetivo en el modo de control mixto (2)
Input_0	Activa el modo independiente sin rampa en sentido CW
Input_1	Activa el modo independiente con rampa en sentido CCW
Input_10	Activa el modo independiente con rampa trapezoidal en sentido CW
Input_11	Activa el modo independiente con rampa trapezoidal en sentido CCW
Input_12	Activa el modo independiente con rampa en sentido CW
Input_13	Activa el modo independiente con rampa en sentido CCW
Input_14	Activar la búsqueda del origen
Input_15	Activar el modo de control mixto
Input_2	Entrada límite sensor CW en la búsqueda del origen
Input_3	Entrada límite sensor CCW en la búsqueda del origen
Input_4	Activa el modo continuo sin rampa en sentido CW
Input_5	Activa el modo continuo sin rampa en sentido CCW
Input_6	Detener los pulsos en la salida de pulsos 0
Input_7	Activa el modo continuo con rampa en sentido CW
Input_8	Activa el modo continuo con rampa en sentido CCW
interrupción	Activa la interrupción en el modo de control mixto
izq	Mueve motor del eje X de la Pick & Place en sentido CW
limCCW	Indica el estado del límite CCW en la búsqueda del origen
LimCCWx	Indica el estado del límite CCW del eje X de la Pick & Place
LimCCWy	Indica el estado del límite CCW del eje Y de la Pick & Place
limCW	Indica el estado del límite CW en la búsqueda del origen
LimCWx	Indica el estado del límite CW del eje X de la Pick & Place
LimCWy	Indica el estado del límite CW del eje Y de la Pick & Place
mov_mesa	Variable para el movimiento horizontal de la mesa en la búsqueda del origen
no_proximidad	Se usa para simular que el sensor de proximidad no ha sido detectado en la búsqueda del origen
origen_alcanzado	Indica si el servomotor se encuentra o no en el origen
origen_establecido	Indica si se ha establecido un origen para el servomotor en la búsqueda del origen
origen2	Se usar para retornar al origen de la Pick & Place
origen_input	Entrada de origen alcanzado en la búsqueda del origen
proximidad	Entrada de sensor de proximidad en la búsqueda del origen

puls	Número de pulsos en el modo independiente sin rampa
puls_minimo	Muestra el número de pulsos mínimo admisibles en el modo de control mixto
puls1	Número de pulsos en el modo independiente con rampa
puls2	Número de pulsos en el modo independiente con rampa trapezoidal
puls3	Número de pulsos en el modo de control mixto
puls_comp	Indica si se han completado los pulsos en la salida de pulsos 0
puls_sal1	Pulsos en la salida de pulsos 0
retorno_orig	Activa el retorno al origen del servomotor
Rot	Rotación del cabezal de la Pick & Place
Rot0	Bit 0 rotación del cabezal de la Pick & Place
Rot1	Bit 1 rotación del cabezal de la Pick & Place
Rot2	Bit 2 rotación del cabezal de la Pick & Place
salida_puls	Indica si están saliendo o no pulsos en la salida de pulsos 0
SETA2	Simula una Parada de Emergencia en la Pick & Place

Tabla 19. Descripción de los puntos.

La siguiente tabla, da más información de los puntos descritos anteriormente:

Punto	Tipo	Actualización	Tipo de E/S	Dirección	Tipo de datos	Rango
aceler	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A280.00	Bit	OFF/ON
adelante	Booleano		Memoria			OFF/ON
atras	Booleano		Memoria			OFF/ON
cod_error	Entero	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A444	Single word unsigned binary	0 a 1000
der	Booleano		Memoria			OFF/ON
diag1	Booleano		Memoria			OFF/ON
diag2	Booleano		Memoria			OFF/ON
diag3	Booleano		Memoria			OFF/ON
diag4	Booleano		Memoria			OFF/ON
DOWN	Booleano		Memoria			OFF/ON
EjeX	Entero		Memoria			195 a 490
EjeY	Entero		Memoria			-238 a 0
error_salida	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A280.07	Bit	OFF/ON
frec	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D109	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec_ac	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D111	Single word unsigned binary	1 a 1900
frec_ac1	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D102	Single word unsigned binary	1 a 1900
frec_ac2	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D114	Single word unsigned binary	1 a 1900
frec_ac3	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D122	Single word unsigned binary	1 a 1900
frec_ac4	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D125	Single word	1 a 1900

					unsigned binary	
frec_dec	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D115	Single word unsigned binary	1 a 1900
frec_dec1	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D126	Single word unsigned binary	1 a 1900
frec_inic	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D120	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec_sal1	Entero	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A10120	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec1	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D107	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec2	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D112	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec3	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D103	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec4	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D116	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec5	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D123	Double word unsigned binary	0 a 90000
frec6	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D127	Double word unsigned binary	0 a 90000
Input_0	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.0	Bit	OFF/ON
Input_1	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.1	Bit	OFF/ON
Input_10	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.10	Bit	OFF/ON
Input_11	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.11	Bit	OFF/ON
Input_12	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.12	Bit	OFF/ON
Input_13	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.13	Bit	OFF/ON
Input_14	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.14	Bit	OFF/ON
Input_15	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.15	Bit	OFF/ON
Input_2	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.2	Bit	OFF/ON
Input_3	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.3	Bit	OFF/ON
Input_4	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.4	Bit	OFF/ON
Input_5	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.5	Bit	OFF/ON
Input_6	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.6	Bit	OFF/ON
Input_7	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.7	Bit	OFF/ON
Input_8	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO0.8	Bit	OFF/ON

interrupción	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO2960. 3	Bit	OFF/ON
izq	Booleano		Memoria			OFF/ON
limCCW	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A540.9	Bit	OFF/ON
LimCCWx	Booleano		Memoria			OFF/ON
LimCCWy	Booleano		Memoria			OFF/ON
limCW	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A540.8	Bit	OFF/ON
LimCWx	Booleano		Memoria			OFF/ON
LimCWy	Booleano		Memoria			OFF/ON
mov_mesa	Entero		Memoria			85 a 825
no_proximidad	Booleano		Memoria			OFF/ON
origen_alcanzado	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A280.6	Bit	OFF/ON
origen_establecido	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A280.5	Bit	OFF/ON
origen2	Booleano		Memoria			OFF/ON
origin_input	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO2960. 0	Bit	OFF/ON
proximidad	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO2960. 1	Bit	OFF/ON
puls	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D105	Double word unsigned binary	0 a 2000000000
puls_minimo	Entero		Memoria			0 a 2000000000
puls1	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D100	Double word unsigned binary	0 a 2000000000
puls2	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D118	Double word unsigned binary	0 a 2000000000
puls3	Entero	Al cambiar	PLC Salida	D129	Double word unsigned binary	0 a 2000000000
puls_comp	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A280.3	Bit	OFF/ON
puls_sal1	Entero	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A276	Double word unsigned binary	0 a 2000000000
retorno_orig	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	CIO2960. 06	Bit	OFF/ON
Rot	Entero		Memoria			0 a 315
Rot0	Booleano		Memoria			OFF/ON
Rot1	Booleano		Memoria			OFF/ON
Rot2	Booleano		Memoria			OFF/ON
salida_puls	Booleano	Con intervalo: 50 MSeg	PLC Entrada	A280.4	Bit	OFF/ON
SETA2	Booleano		Memoria			OFF/ON

Tabla 20. Información de los puntos.

CAPÍTULO IV.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

4.1 CONCLUSIONES

Una vez llegado a este punto, y tras haber efectuado numerosas simulaciones y pruebas, se puede afirmar que se ha desarrollado un sistema estable y fiable, todo esto con una interfaz gráfica atractiva y bastante intuitiva. Esto permite al usuario trabajar desde un primer momento sin necesidad ningún tipo de formación específica. Es decir, se puede conseguir de una manera relativamente sencilla que el alumno comprenda y manipule un instrumental usado a diario en el mundo industrial, objetivo primordial del presente trabajo.

A modo de conclusión, este Trabajo Fin de Máster está orientado para ser material docente en prácticas de alumnos de carreras técnicas, de ahí que se hayan hecho el **Anexo I: *Manual de usuario***, que trata de un manual de usuario para el correcto conocimiento del equipo y un **Anexo IV: *Manual de Actividades***, con distintas actividades posibles para realizar en éstas prácticas docentes.

4.2 TRABAJOS FUTUROS

El papel que desempeñan los servomotores en la industria actual es cada vez más importante, estando su uso implicado en una gran variedad de industrias, desde servicios de alimentación hasta productos farmacéuticos, por ejemplo. En cualquier proyecto de automatización en plantas industriales y robótica en general, estos elementos están presentes.

Cierto es que el sistema desarrollado cumple todos los objetivos planteados, sin embargo, se podrían realizar distintas innovaciones o mejoras con el fin de proporcionar al alumno una visión más influyente si cabe sobre el control de servomotores, tales como:

- Sustituir parte del instrumental, como por ejemplo el kit de servomotor, por otro más moderno, con el fin de acercar al alumno a métodos de control y de comunicación entre los distintos componentes del sistema más modernos, tal como la comunicación a través de buses de campo.
- Otra posible innovación sería montar una maqueta compuesta por una mesa metálica y los correspondientes husillos acoplados a los ejes del motor para que el alumno pueda obtener una mejor visión y aprendizaje de la aplicación real en cuestión.

BIBLIOGRAFÍA

[1] LÓPEZ MORALES, JAVIER y MORALES CEBALLOS, J.ANTONIO. *Automatización de una máquina ensambladora de componentes SMT (pick & place)*. Universidad de Córdoba, España. Junio 2013.

[2] SANZ GARCÍA, CARLOS y SANZ GARCÍA, VÍCTOR. *Control de una máquina ensambladora de componentes SMT (pick & place)*. Universidad de Córdoba, España. Junio 2012

[3] *La Revolución Industrial*. Obtenido de

<http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/la_revolucion_industrial.htm>

[4] *Tipología de servomotores* [en línea]. *Disponible en Web*:

<<http://dscs.webcindario.com/Servos/Tipos%20de%20Servomotores.pdf>>

[5] RAMÍREZ, YAMID. *Servomotores*. Obtenido de:

<<http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores2.shtml>>

[6] LÓPEZ LÓPEZ, F.E. *Automatización de un Sistema de Manipulación de Cajas con Accionamiento Espacial*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 2009.

[7] KOSOW IRVING, L. *Máquinas eléctricas y transformadores*. 2ª ed. Pearson Educación, 1993. 704 p. ISBN 968880293X

[8] C.I.P. ETI TUDELA. *Servoaccionamientos* [en línea]. 13p. Disponible en Web:

<<http://www.etitudela.com/celula/downloads/servoaccionamientos.pdf>>

[9] *Soluciones Omron en Motion Control*. Omron. Obtenido de:

<http://www.redeweb.com/_txt/662/52.pdf>

[10] CEBALLOS, JONATHAN. *Servomotores*. Obtenido de:

<<http://prezi.com/4cb1ak5yavpd/copy-of-servomotores/>>

[11] *El servomotor*. [en línea]. Universidad de Castilla La Mancha. Laboratorio de Electrónica. Disponible en Web:

<<http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>>

[12] YASKAWA. *Sigma Series SGD/SGM: AC Servo Drives with Incremental/Absolute Encoder for Positioning Control User Manual* [en línea]. Diciembre 1993. 171p. Disponible en web:

<[http://www.yaskawa.com/site/dmservo.nsf/LEG/TKUR-7UZL7R/\\$File/TSE-S800-15.2.pdf](http://www.yaskawa.com/site/dmservo.nsf/LEG/TKUR-7UZL7R/$File/TSE-S800-15.2.pdf)>

[13] FUIDIO BLASCO, FRANCISCO. *Automatización de control de fermentación en bodega*. Proyecto fin de carrera. Universidad de la Rioja. 2012.343p.

[15] MICHEL, G. IBAÑEZ MORLÁN, L. *Autómatas programables industriales: arquitectura y aplicaciones*. Marcombo Boixareu. Barcelona, 1990. 343 p. ISBN 8426707890

[16] OMRON. *CJ2 CPU Unit Hardware. USER'S MANUAL* [en línea]. Catálogo No. W472-E1-08. Octubre 2010. 422 p. Disponible en Web:

<<http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/PLCs/Modular%20PLC%20Series/CJ1G,%20CJ1H/CJ1%20CPU%20Units/W472/W472-E1-08.pdf>>

[17] OMRON. *CJ2M CPU Unit Pulse I/O Module. USER'S MANUAL* [en línea]. Catálogo No. W486-e1-01. Julio 2010. 278p. Disponible en Web:

<http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/PLCs/Compact%20PLC%20Series/CP1H/CJ1%20Position%20Control%20Units/W486/W486-E1-01_CJ2M_Pulse_IO.pdf>

[18] OMRON. *Unidades de E/S digitales CJ. Especificaciones y modelos disponibles* [en línea]. Disponible en Web:

<http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/automation_systems/programmable_logic_co ntrollers/modular_plc_series/cj2m/digital_i_o_units/default.html>

[19] OMRON. *Data Sheet* [en línea]. Disponible en Web:

<http://www.ia.omron.com/data_pdf/data_sheet/s8jx_t041_csm2005.pdf>

[20] SEPÚLVEDO LOZANO, CARLOS ELÍAS. *Artículo de la revista Metal Actual. Servomotores, la Misma Potencia con Ahorro para la Industria* [en línea]. Disponible en Web:

< http://www.metalactual.com/revista/25/maquinaria_servo.pdf >

[21] OMRON. *CX-Programmer* [en línea]. Disponible en Web:

<http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/automation_systems/software/programming/cx-one/cx-programmer.html>

[22] ROMAGOSA CABÚS, J. GALLEGRO NAVARRETE, D. PACHECO PORRAS, R. *Sistemas SCADA*. EPSEVG. Villanueva y Geltrú, Barcelona. 2004. 66 p.

[23] MICROSOFT. *¿Qué es Excel?* [en línea]. Disponible en Web:

<<http://office.microsoft.com/es-mx/support/que-es-excel-HA010265948.aspx>>

[26] OMRON. *CJ2 CPU Unit Software USER'S MANUAL* [en línea]. Catálogo No. W473-E1-08. Octubre 2010. 670 p. Disponible en Web:

<<http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/PLCs/Modular%20PLC%20Series/CJ1G,%20CJ1H/CJ1%20CPU%20Units/W473/W473-E1-08.pdf>>

[28]OMRON. *CX-Supervisor Language Reference* [en línea]. Catálogo No. W09E-EN-01. Septiembre 2010. 164 p. Disponible en Web:

<<http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/HMI/PC%20Based%20HMI/CX-Supervisor/W09E/W09E-EN-01+CX-Supervisor+ScriptReference.pdf>>

[29] OMRON. *CX-Supervisor. USER'S MANUAL* [en línea]. Catálogo No. W10E-EN-01. Septiembre 2010. 332 p. Disponible en Web:

<<http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/HMI/PC%20Based%20HMI/CX-Supervisor/W10E/W10E-EN-01+CX-Supervisor+UsersManual.pdf>>

ANEXO I

MANUAL DE USUARIO.

Introducción

Este manual le proporciona la información necesaria para instalar, conocer y utilizar la interfaz gráfica.

Por favor, lea detenidamente y comprenda este manual antes de comenzar a usar el módulo de entrenamiento.

Este manual está destinado a cualquiera que manipule el módulo, con o sin conocimientos sobre servomotores, SCADAs y PLCs



ERRORES Y OMISIONES

La información en este manual ha sido cuidadosamente revisada y dada por correcta, sin embargo, no se asume ninguna responsabilidad sobre algún error tipográfico, de redacción o de corrección, o por alguna omisión.

Secciones de este manual

1. Acerca de CX-Supervisor

2. Pantalla de inicio

3. Modos de funcionamiento

4. Simulación

Contenido

Introducción

Sección 1 Acerca de CX-Supervisor

1.1 Requisitos del sistema

1.1.1 Requisitos hardware

1.1.2 Requisitos software

1.1.3 Otros

1.2 Instalar la aplicación

1.3 Ejecutar la aplicación

1.4 Modificar la aplicación

Sección 2 Pantalla de inicio

Sección 3 Modos de funcionamiento

3.1 Control de velocidad

3.2 Control de posición

3.3 Control mixto

3.4 Búsqueda de origen

Sección 4 Simulación



Acerca de CX-Supervisor

1.1 Requisitos del sistema

- 1.1.1 Requisitos hardware
- 1.1.2 Requisitos software
- 1.1.3 Otros

1.2 Instalar la aplicación

1.3 Ejecutar la aplicación

1.4 Modificar la aplicación

Acerca de CX-Supervisor

CX-Supervisor es un software de supervisión para sistemas SCADA. Se utiliza para visualizar e interactuar con el usuario durante el funcionamiento y es suficientemente flexible para trabajar sobre un solo PLC o sobre un sistema entero de producción.

Características principales de CX-Supervisor

- Hace de interfaz entre los procesos y los operarios
- Visualización y adquisición de datos
- Gestión de la información
- Control de Producción
- Control de Supervisión
- Control de procesos continuos
- Sistema de gestión de alarmas
- Sistema de gestión de recetas
- Simulación y modelado de procesos a través de animaciones gráficas
- Registro de datos
- Registro de errores
- Interfaces de usuario multi-idioma
- Generación de informes (incluye HTML)
- Conectividad con bases de datos
- Conexión a servidores OPC

CX-Supervisor comprende dos programas ejecutables independientes, CX-Supervisor Development Environment (entorno de desarrollo) y CX-Supervisor Runtime Environment (entorno de ejecución). Las aplicaciones son creadas y probadas utilizando el entorno de desarrollo y luego entregadas finalmente al cliente como aplicaciones únicamente ejecutables con el entorno de ejecución.

El entorno de ejecución solo se puede utilizar para ejecutar una aplicación generada previamente con el entorno de desarrollo. No es posible modificar o crear una nueva aplicación utilizando el entorno de ejecución.

1.1 Requisitos del sistema

1.1.1 Requisitos hardware

Requisitos mínimos del sistema

CPU	Procesador Pentium II a 600 MHz o sup.
Memoria	256 MB de RAM
Espacio en disco duro	650 MB
Monitor	800 x 600 VGA
Otros	Lector de CD-ROM


Requisitos recomendados

CPU	Procesador Pentium II a 1.0 GHz
Memoria	512 MB de RAM
Monitor	1024 x 768 SVGA

1.1.2 Requisitos software

Sistemas Operativos

Sistemas operativos compatibles	Sistemas operativos incompatibles
Windows 2000 (SP2)	Windows NT
Windows XP Professional	Windows ME
Windows Vista	Windows 98
Windows 7	Windows 95

 Tampoco se garantiza que sea compatible en ordeadores con sistemas operativos emulados (ej. VMware, Microsoft Visual PC, Bochs o Virtual Box).

1.1.3 Otros

- Microsoft Office 2003 o superior.
- Complemento de Office 2003: Office Web Components.

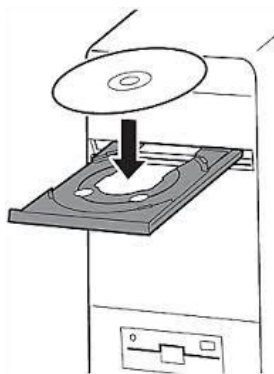
- ❖ Microsoft Office Web Components es una colección de controles de Component Object Model (COM) para publicar hojas de cálculo, gráficos y bases de datos en la Web. También se usa para ver estos elementos cuando se publican y para ver páginas de acceso a datos.
- ❖ Si tiene instalados Microsoft Office FrontPage 2003, Microsoft Office Access 2003 y Microsoft Office Excel 2003, Office Web Components le permite publicar datos interactivos como parte de un sitio Web. Office Web Components, usado con Microsoft Internet Explorer versión 5.01 o posterior, le permite ver un control publicado (hoja de cálculo, gráfico o base de datos) en una página Web y ver páginas de acceso a datos.
- ❖ Al instalar la herramienta Office Web Components, los usuarios pueden ver componentes publicados y páginas de acceso a datos en la Web sin tener que instalar Office 2003. Nota: Si no se posee una licencia de Office 2003, se autoriza el uso de Office Web Components en modo estático, no interactivo, limitado al cliente y de sólo vista. Si posee dicha licencia, se autoriza el uso de Office Web Components en modo interactivo.

1.2 Instalar la aplicación

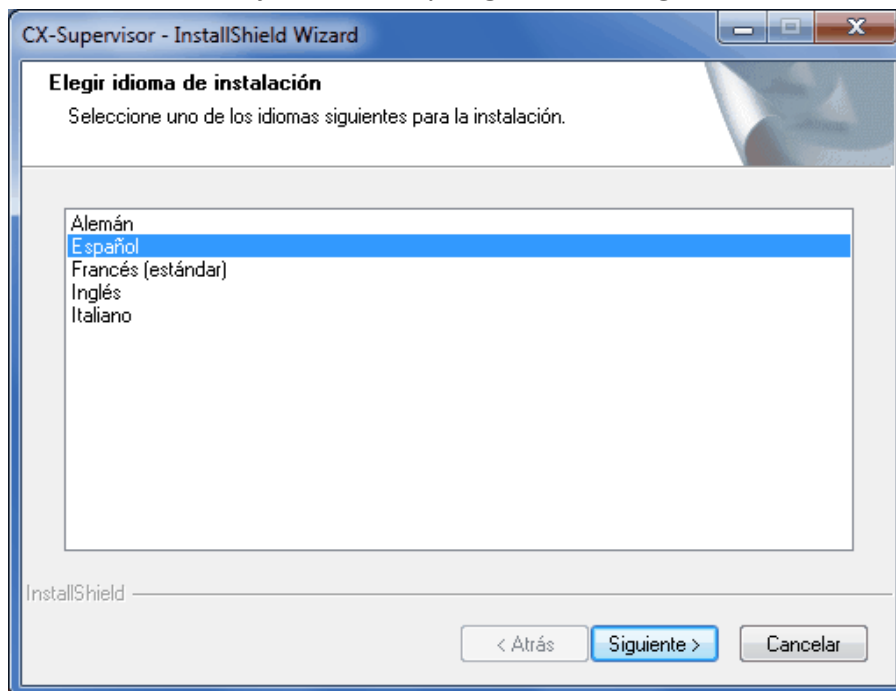
Instalación de CX-Supervisor Runtime:

Siga los pasos que se muestran a continuación:

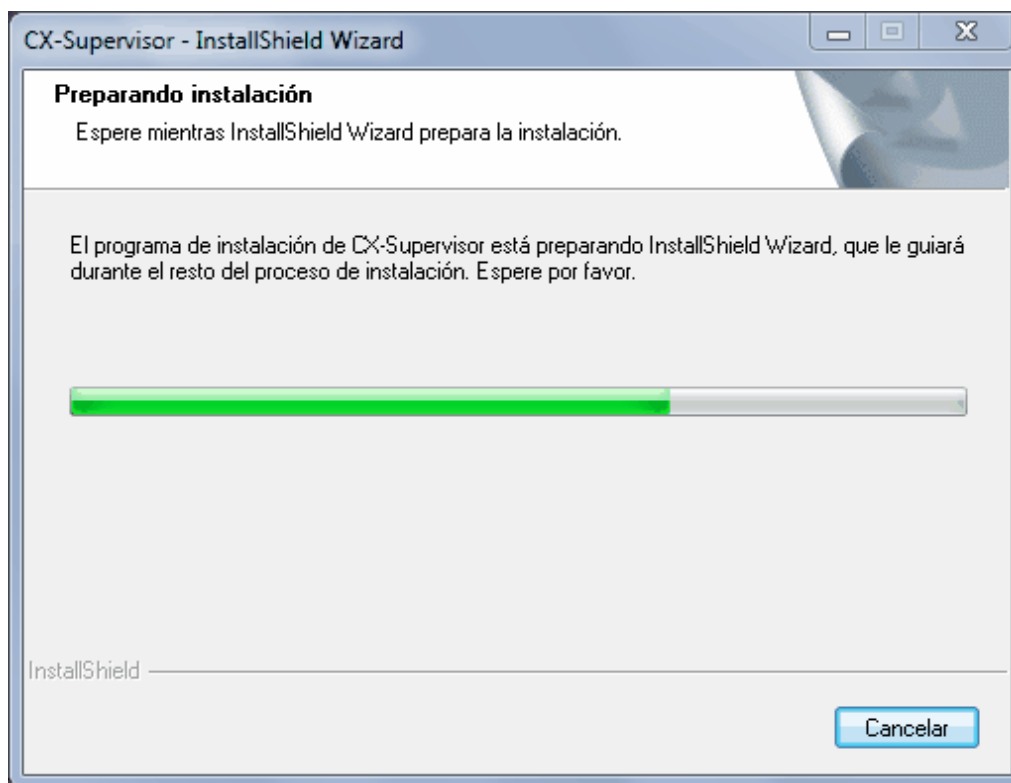
- 1- Inserte el CD-ROM en el lector de su ordenador y haga doble click en **Setup**.



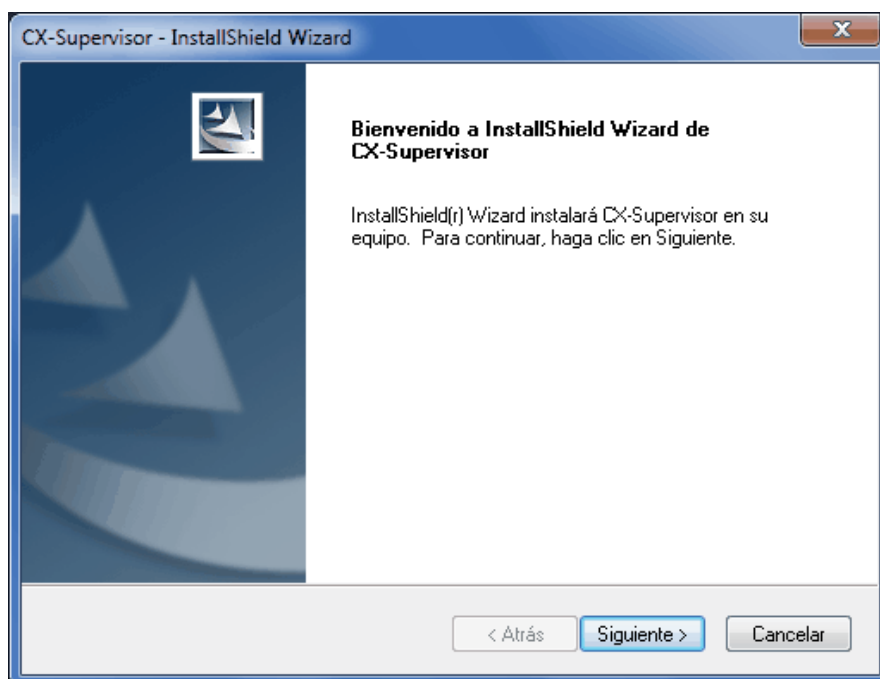
- 2- Al comenzar la instalación, aparecerá una ventana en la que podrá seleccionar el idioma. Elija el idioma y haga click en **Siguiente**.



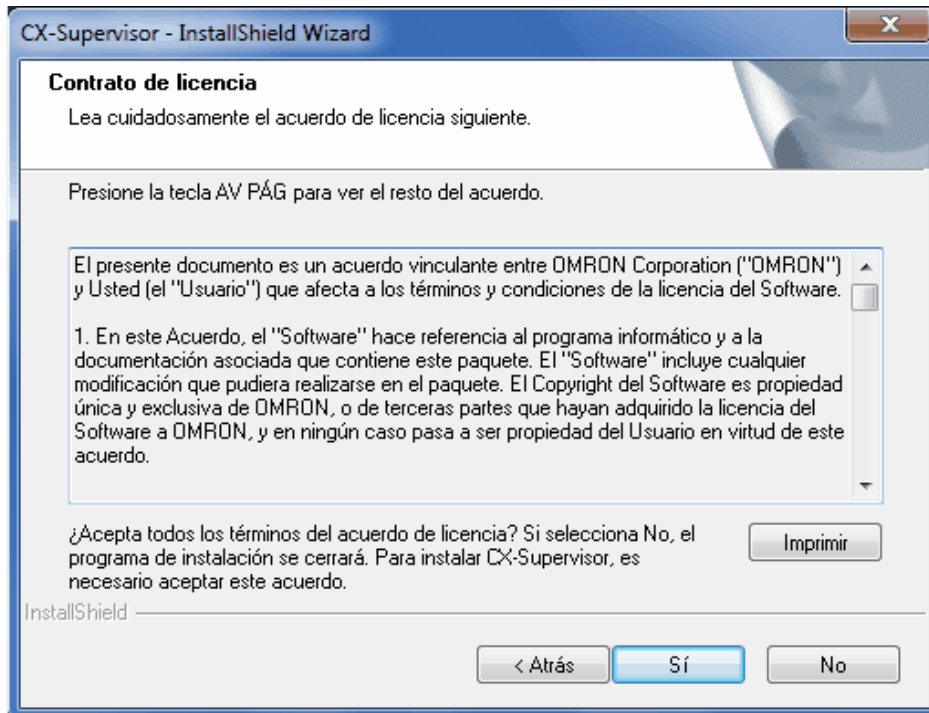
Espere mientras se prepara la instalación.



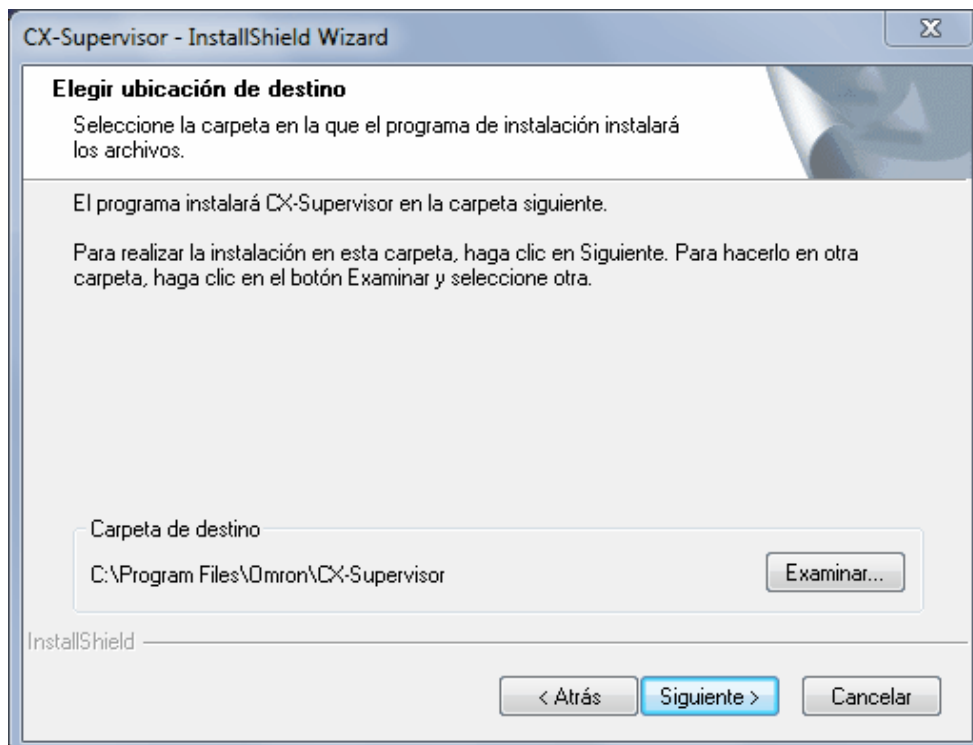
3- Haga click en ***Siguiente*** para continuar la instalación.



4- Lea y acepte los términos del acuerdo de licencia.

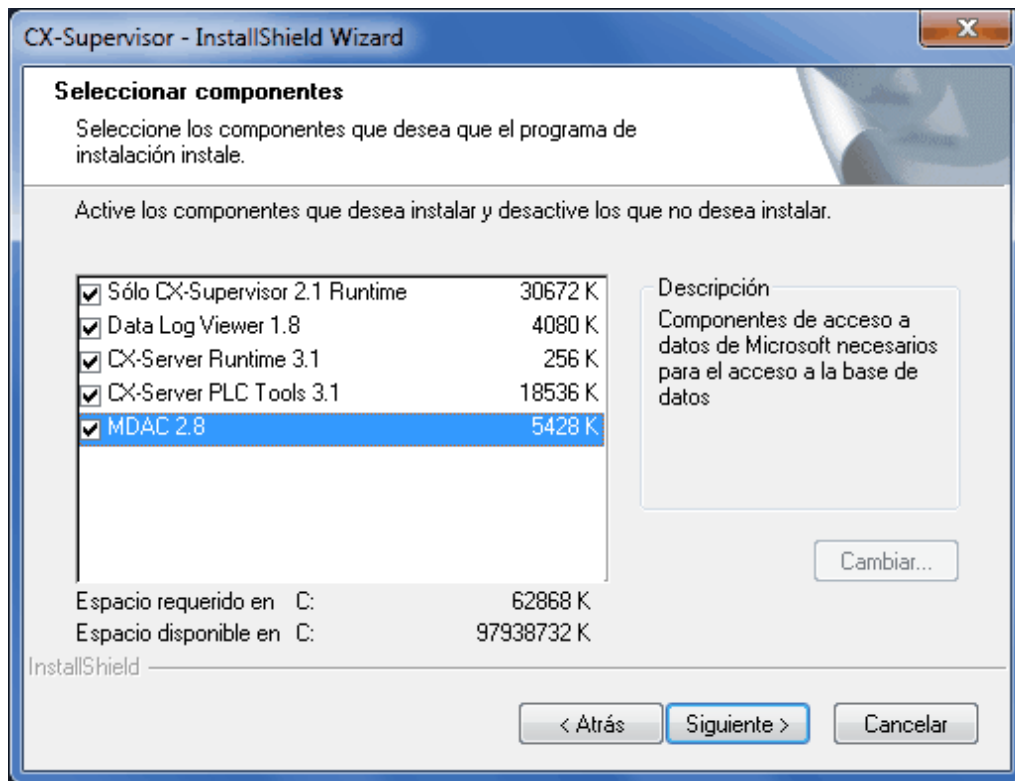


5- Seleccione el directorio donde desee instalar la aplicación. Para cambiar la carpeta de destino haga click en **Examinar**. A continuación haga click en **Siguiente**.

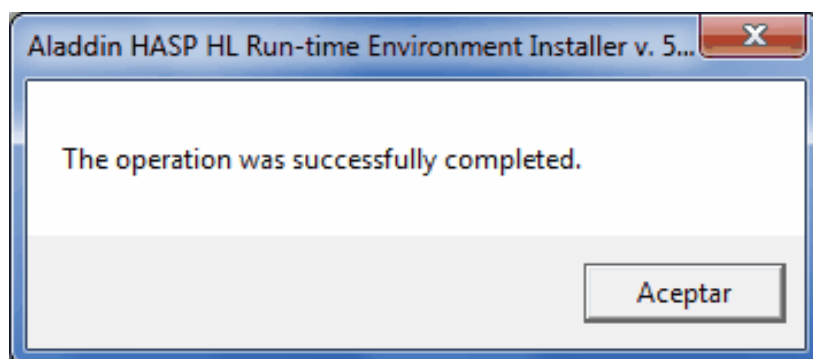


- 6- Seleccione los componentes que desee instalar. Se requiere instalar todos los componentes, excepto Data Log Viewer y CX-Server PLC Tools, que son opcionales.

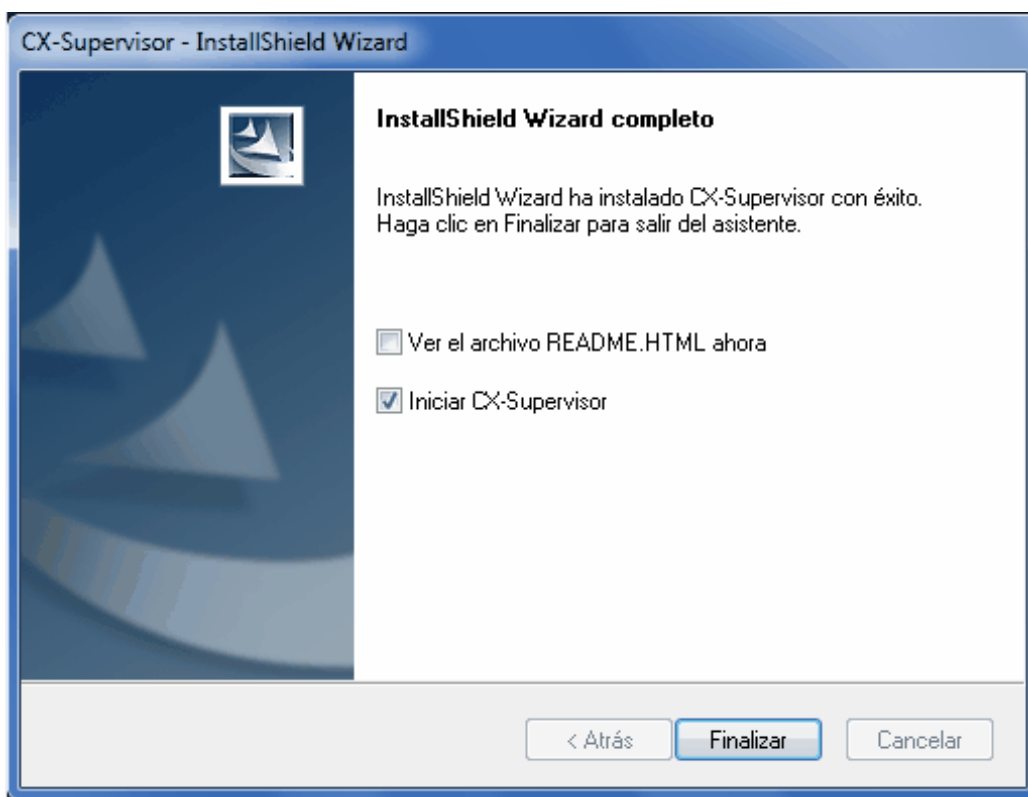
Si pulsa sobre el nombre del componente, aparecerá una breve descripción. Una vez seleccionados, haga click en **Siguiente**.



- 7- A continuación se instalarán todos los componentes seleccionados. Cuando finalice la instalación del controlador del sistema de protección antipiratería (llave de protección o USB dongle), haga click en **Aceptar**.



8- Por último haga click en **Finalizar** para completar la instalación.



Instalación de fuentes:

La interfaz de usuario utiliza fuentes que no están instaladas por defecto en el sistema. Para que las pantallas se muestren correctamente, instale las fuentes ubicadas dentro de la carpeta *Interfaz Módulo* → *Extras* → *Fuentes*.

Instalación de Microsoft Office Web Componentes:

Utilice un instalador ubicado dentro de la carpeta *Interfaz Módulo* → *Extras* → *Microsoft Office Web Components*.

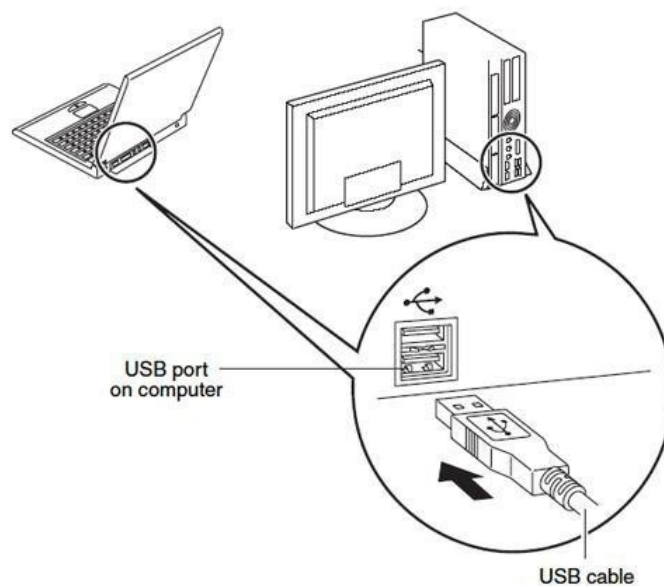
! IMPORTANTE:

Copie íntegramente la carpeta *Interfaz Módulo* a la raíz C:\ de su disco duro. Si elige otro directorio es posible que dejen de funcionar algunas funciones.

1.3 Ejecutar la aplicación

Para comenzar a utilizar la aplicación, siga los siguientes pasos:

- 1- Inserte el cable USB del PLC a un puerto libre de su ordenador.



- 2- Inserte la llave hardware (USB dongle) en otro puerto libre de su ordenador.
- 3- Ejecute la aplicación haciendo doble click en el ejecutable *Interfaz Módulo*.

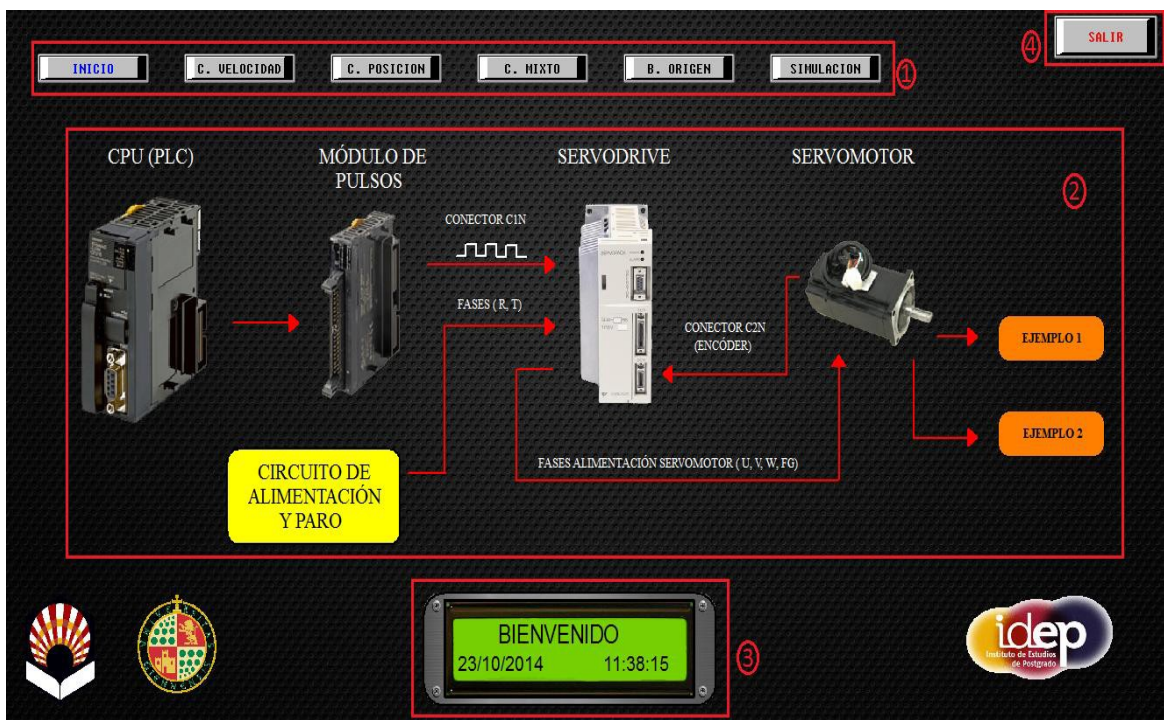
1.4 Modificar la aplicación

No es posible modificar o crear una nueva aplicación utilizando el entorno de ejecución (CX-Supervisor Runtime). Para realizar dichas operaciones deberá adquirir el entorno de desarrollo de CX-Supervisor (CX-Supervisor Development Environment).

2

Pantalla de inicio

Siempre que ejecute la aplicación se mostrará la pantalla de inicio, en la que aparecerán los siguientes elementos:



1. Menú

Aparecen los diferentes modos de funcionamiento.

2. Esquema del módulo de entrenamiento

En él aparecen los distintos elementos que forman el módulo de entrenamiento (PLC, módulo de pulsos, servodrive y servomotor). Si se hace click sobre alguno de ellos, se podrá acceder a sus hojas de características y/o manuales de operación. También, si pulsamos sobre cada uno de los conectores por ejemplo, nos aparecerá su hoja de características o *datasheet* para que se pueda tener toda la información completa del sistema antes de manipular el mismo.

Al pulsar sobre los ejemplos 1 y 2, podremos ver sendos vídeos con demostración sobre el funcionamiento del servomotor.

De igual manera, podemos ver el esquema del circuito de alimentación y paro externo al módulo de entrenamiento si pulsamos sobre él.

3. Visualizador de fecha y hora

4. Botón *Salir*



Modos de operación

- 3.1 Control de velocidad
- 3.2 Control de posición
- 3.3 Control mixto
- 3.4 Búsqueda de origen

Modos de operación

Disponemos de 3 modos básicos de operación. Es posible acceder a uno u otro desde el menú principal descrito en la pantalla de inicio anteriormente.

- **Control de velocidad**

Este modo de control nos permite asegurar que el motor gira a la velocidad requerida. El control de velocidad en los servodrives se suele efectuar normalmente, variando la frecuencia o el periodo del tren de pulsos.

- **Control de posición**

Este modo de control nos asegura que la carga está en la posición programada. El control de posición en el servodrive se va a realizar mediante la entrada de trenes de pulsos, cuyo número de pulsos va a ser definido.

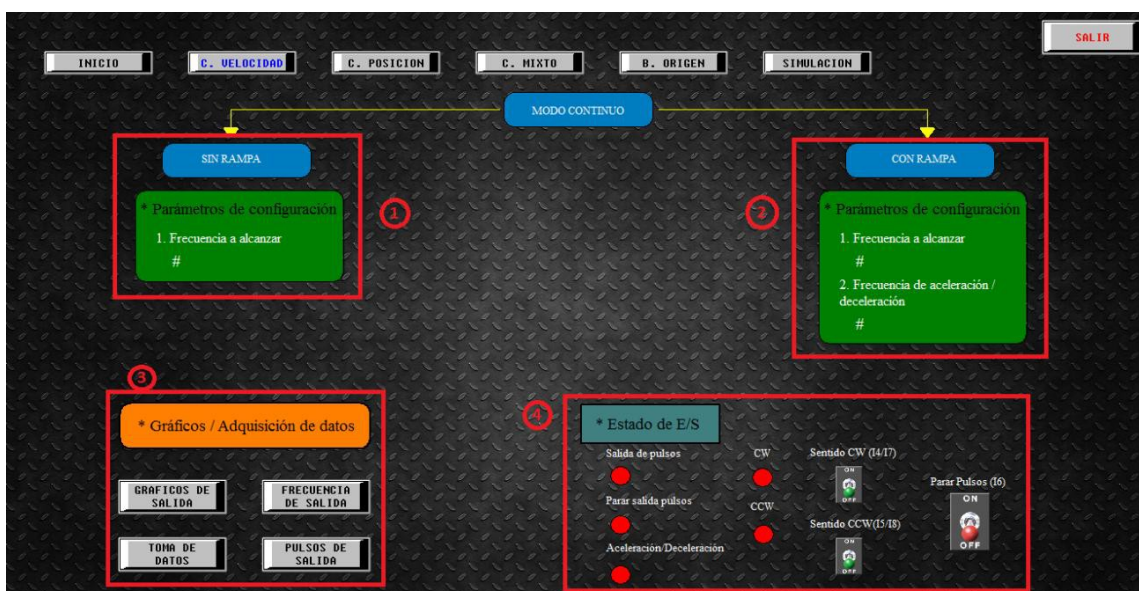
- **Control mixto**

Este modo de control nos permite conseguir una mezcla de los dos tipos de control vistos anteriormente.

3.1 Control de velocidad

En este tipo de control se obtendrá a la salida un tren de pulsos continuo, es decir, un tren de pulsos cuyo número de pulsos total será indefinido y en los que sólo se podrá variar la frecuencia.

En la pantalla aparecen los siguientes elementos.



1. Modo continuo sin rampa

En este modo se obtendrá a la salida un tren de pulsos continuo, es decir, un tren de pulsos cuyo número total será indefinido y en el que solo se podrá variar la frecuencia sin que se produzcan rampas de aceleración/deceleración entre los distintos cambios de frecuencia provocados. Por lo tanto, y como se puede apreciar en la pantalla, el usuario sólo podrá manipular la frecuencia objetivo, que será el único parámetro de configuración.

2. Modo continuo con rampa

En este modo se obtendrá a la salida un tren de pulsos continuo, es decir, un tren de pulsos cuyo número total de pulsos será indefinido y en el que solo se podrá variar la frecuencia, produciéndose rampas de aceleración/deceleración entre los distintos cambios de frecuencia provocados. Los parámetros de configuración que podrán ser

modificados por el usuario en este caso, pasarán a ser la frecuencia objetivo y la frecuencia de aceleración/deceleración entre los saltos de las distintas frecuencias objetivo.

3. Gráficos / Adquisición de datos

En este apartado se podrá visualizar mediante gráficos la evolución temporal de algunas variables de E/S que son de gran utilidad para el usuario, ya que permitirá una correcta comprensión del control utilizado. Entre las gráficas que se podrán observar, tendremos una gráfica que muestra la frecuencia de salida de pulsos utilizada; otra gráfica que mostrará los pulsos de salida de dicha salida de pulsos y, por último, otra gráfica que mostrará una combinación de las dos variables anteriores. También tendremos un apartado para adquisición o toma de datos, donde podremos visualizar la evolución de las variables comentadas anteriormente con mayor exactitud y donde podremos obtener mediante tablas en una hoja de cálculo el valor de dichas variables a estudiar dentro del rango temporal analizado.

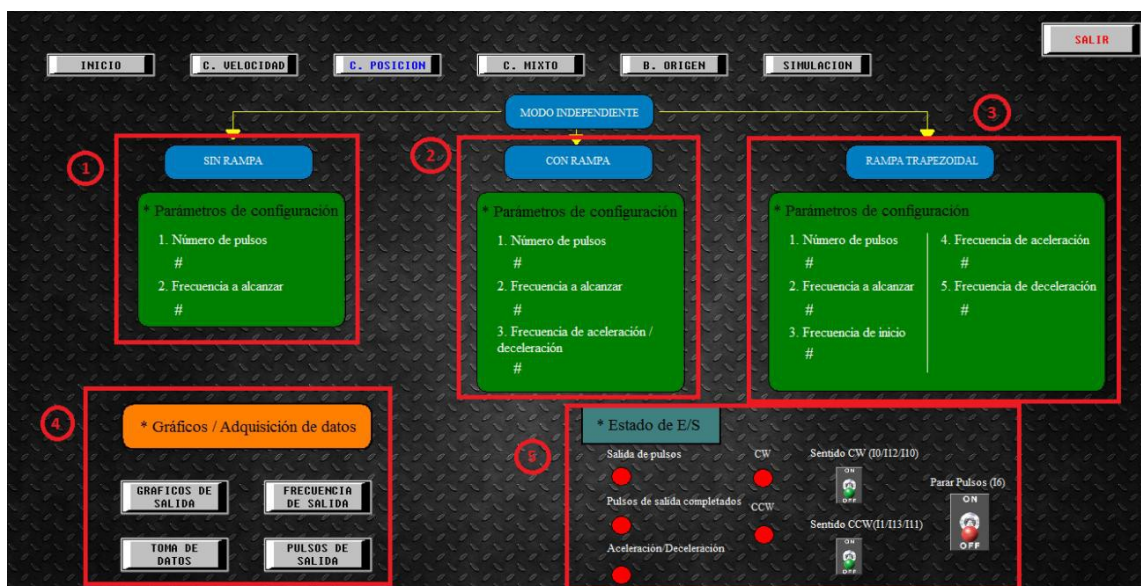
4. Estado de E/S

En este apartado de la ventana en la que nos encontramos, se podrá visualizar algunas E/S del sistema, las cuales van a intervenir en dicho modo de control. Por ejemplo, se podrá visualizar en que momento están enviándose pulsos desde el módulo de pulsos o cuando está detenida dicha salida de pulsos; cuando se encuentra el sistema acelerando o desacelerando; en que sentido se encuentra girando el eje del motor en caso de existir pulsos a la salida o, incluso, visualizar por pantalla el estado de los interruptores externos a usar para activar o desactivar los distintos modos dentro de dicho método de control.

3.2 Control de posición

En este tipo de control se obtendrá a la salida un tren de pulsos cuyo número total de pulsos será definido y en el que se podrá variar la frecuencia de dicho tren de pulsos, produciéndose distintos comportamientos según utilicemos rampas de aceleración/deceleración, rampas trapezoidales, etc.

En la pantalla aparecerán los siguientes elementos:



1. Modo independiente sin rampa

En este modo se obtendrá a la salida un tren de pulsos cuyo número total de pulsos será definido y en los que solo se podrá variar la frecuencia de dicho tren de pulsos, sin que se produzcan rampas de aceleración/deceleración entre los cambios de frecuencia provocados. Los parámetros de configuración que podrán ser modificados por el usuario, como podemos observar en la imagen, serán: el número de pulsos que se pretende conseguir a la salida del módulo de pulsos y la frecuencia de dicho tren de pulsos.

2. Modo independiente con rampa

En este modo se obtendrá a la salida un tren de pulsos cuyo número total de pulsos será definido y en los que solo se podrá variar la frecuencia de dicho tren de pulsos, produciéndose rampas de aceleración/deceleración

entre los cambios de frecuencia provocados. Los parámetros de configuración que podrán ser modificados por el usuario serán: el número de pulsos que se pretende conseguir a la salida del módulo de pulsos, la frecuencia de dicho tren de pulsos y la frecuencia de aceleración/deceleración con las que se conseguirán obtener las distintas rampas.

3. Modo independiente con rampa trapezoidal

En este modo se obtendrá a la salida un tren de pulsos cuyo número total de pulsos será definido y en los que se podrá variar la frecuencia inicial y la frecuencia objetivo de dicho tren de pulsos, produciéndose rampas de aceleración/deceleración entre los cambios de frecuencia provocados. Podrán conseguirse rampas de aceleración diferentes a las rampas de deceleración y viceversa. Los parámetros de configuración que podrán ser modificados por el usuario serán: el número de pulsos que se pretende conseguir a la salida del módulo de pulsos, la frecuencia de inicio y la frecuencia objetivo de dicho tren de pulsos, la frecuencia de aceleración con la que se obtiene la rampa de aceleración hasta conseguir la frecuencia objetivo y la frecuencia de deceleración con la que se obtiene la rampa de deceleración hasta completar el número de pulsos de la salida de pulsos.

4. Gráficos / Adquisición de datos

Este apartado tiene la misma función que se explicó anteriormente en el apartado 4 del modo “Control de velocidad”.

5. Estado de E/S

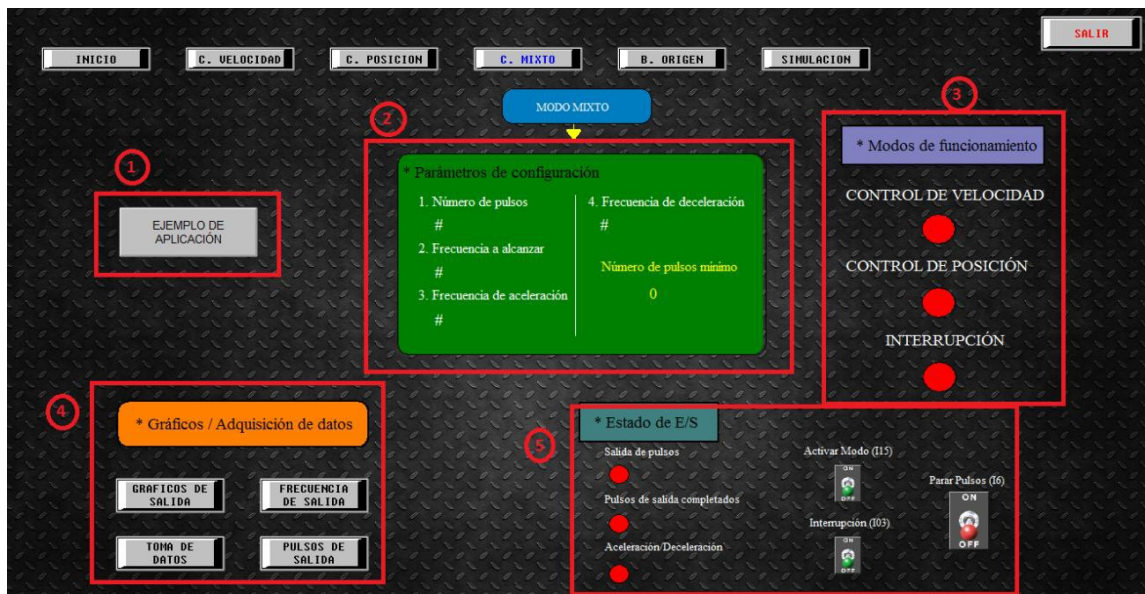
Este apartado será prácticamente igual que el punto 5 del modo “Control de velocidad”, excepto con una leve diferencia.

La diferencia será que en esta ventana se indicará, mediante un LED, cuando se ha completado el número de pulsos totales programados por el usuario.

3.3 Control mixto

En este tipo de control tendremos una mezcla de los dos tipos de control vistos anteriormente, control de velocidad y control de posición.

En la pantalla aparecerán los siguientes elementos:



1. Ejemplo de aplicación

Este apartado nos permitirá conocer un ejemplo de aplicación real en la que se utiliza un control mixto de servomotores. Se ha decidido mostrar dicha aplicación real puesto que este modo de control es un algo inusual y se pretende dar una visión general sobre un posible uso al usuario.

2. Modo mixto

En este modo tendremos una mezcla de los dos tipos de control vistos anteriormente, control de velocidad y control de posición. Al activar dicho modo, tendremos en primer lugar un control de velocidad, es decir, tendremos a la salida un tren de pulsos de frecuencia objetivo determinada y cuyo número de pulsos es indefinido. Una vez que se active una interrupción concreta, el sistema pasará automáticamente de control de velocidad a control de posición, obteniendo a la salida un tren de pulsos cuyo número de pulsos será definido y frecuencia objetivo la

misma que en el control de velocidad. Por lo tanto, los parámetros que podrá modificar el usuario serán: la frecuencia objetivo, la frecuencia de aceleración, la frecuencia de deceleración y el número de pulsos.

Tendremos una variable en color amarillo que nos mostrará el valor mínimo de número de pulsos a introducir antes de activar dicho modo de control para que el sistema no de error y , de esta forma, responda a la activación de la interrupción para el cambio de modo de control.

3. Modos de funcionamiento

En este apartado se mostrará al usuario, mediante el uso de LEDs, en qué modo de control nos encontramos en cada momento, al activar el modo de control mixto, y en qué momento se activa la interrupción para pasar de un modo de control a otro.

4. Gráficos/Adquisición de datos

Este apartado tiene la misma función que se explicó anteriormente en el apartado 4 del modo “Control de velocidad”.

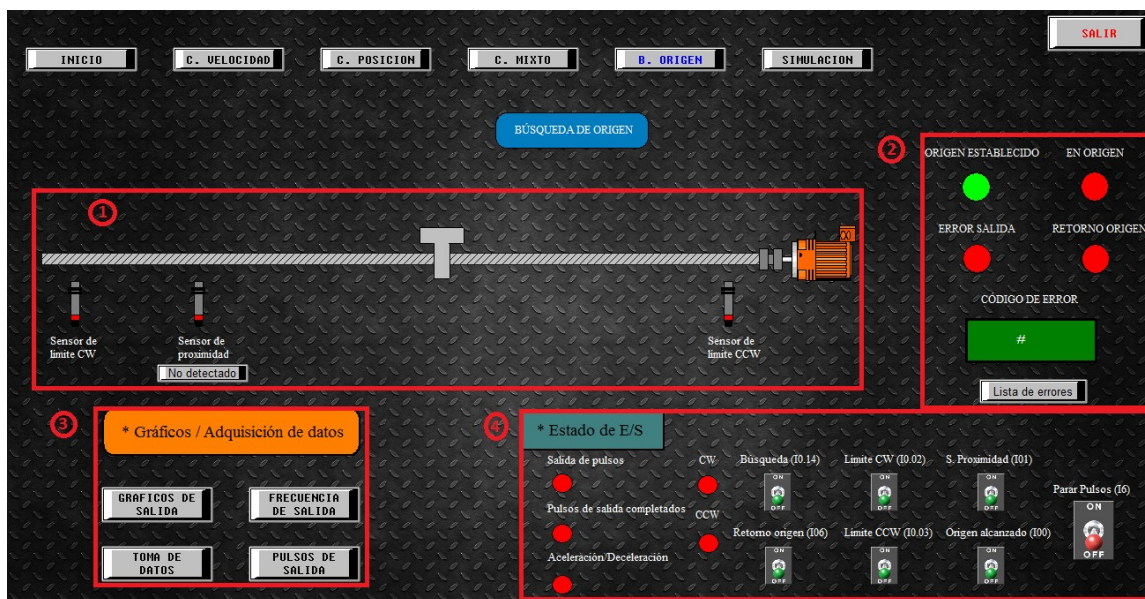
5. Estado de E/S

En este apartado se mostrará el estado de algunas E/S del sistema y de los interruptores externos utilizados en dicho método de control, tal y como se explicó en los apartados de estado de E/S de los métodos de control anteriores.

3.4 Búsqueda de origen

En esta pantalla se pretende que el usuario asimile y comprenda los conceptos relacionados con la búsqueda de origen, concepto de vital importancia en las máquinas de control de ejes.

En la pantalla aparecerán los siguientes elementos:



1. Búsqueda de origen

Dicha instrucción se usa para establecer un origen de coordenadas a partir del cual todos los movimientos sean relativos a éste. Es necesario realizar cada vez que se inicie el sistema una búsqueda de origen.

2. Señales de origen y errores

En este apartado se mostrarán algunas señales específicas de la búsqueda del origen, retorno al origen y algunos códigos de error que pueden producirse al ejecutar dicha instrucción.

3. Gráficos/Adquisición de datos

Este apartado tiene la misma función que se explicó anteriormente en el apartado 4 del modo "Control de velocidad".

4. Estado de E/S

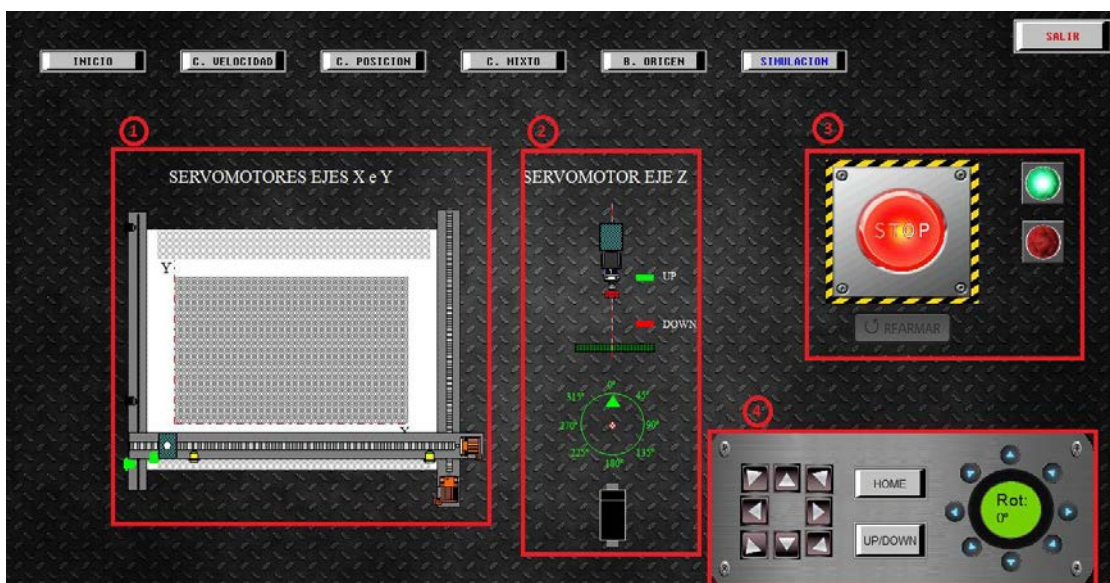
En este apartado se mostrará el estado de algunas E/S del sistema y de los interruptores externos utilizados en dicho método de control, tal y como se explicó en los apartados de estado de E/S de los métodos de control anteriores.

4

Simulación

En este apartado se pretende dar una visión general al usuario de una aplicación real en la que se utilicen servomotores industriales, simulando el movimiento de los distintos servomotores que componen una máquina ensambladora de componentes SMD (Pick & Place) en los ejes correspondientes de la máquina, y que el usuario pueda comprender la finalidad de los distintos movimientos conseguidos a través de dichos servomotores.

NOTA: En dicha ventana no se pretende comprender el funcionamiento íntegro de una máquina pick & place, sino que se pretende dar una visión muy general del proceso, centrándonos en los distintos movimientos de los motores que la componen.



1. Servomotores ejes X e Y

En este apartado podemos observar una mesa de trabajo de una máquina ensambladora de componentes SMD (Pick & Place). Así se podrá comprender el comportamiento y las pautas a seguir a la hora de realizar este proceso industrial, además de comprobar y ver la utilidad de los distintos tipos de control de servomotores. También se podrá visualizar y comprobar el funcionamiento de algunos de los sensores más importantes en las máquinas de control de ejes, tal y como son los finales de carrera.

2. Servomotor eje Z

En este apartado se podrá visualizar los distintos ángulos de rotación que se puede obtener con el servomotor del eje Z, a través de la representación de un componente SMD. También se podrá visualizar cuando se encuentra el cabezal de la máquina en la posición superior o inferior.

3. Parada de emergencia

En este apartado tendremos una parada de emergencia mediante la cual podremos congelar el proceso en cualquier instante y rearmar dicha parada cuando sea necesario continuar con el proceso. Mediante unos LEDs indicaré si el proceso está listo para ejecutarse o si está parado debido a la activación de la parada de emergencia.

4. Cuadro de mando

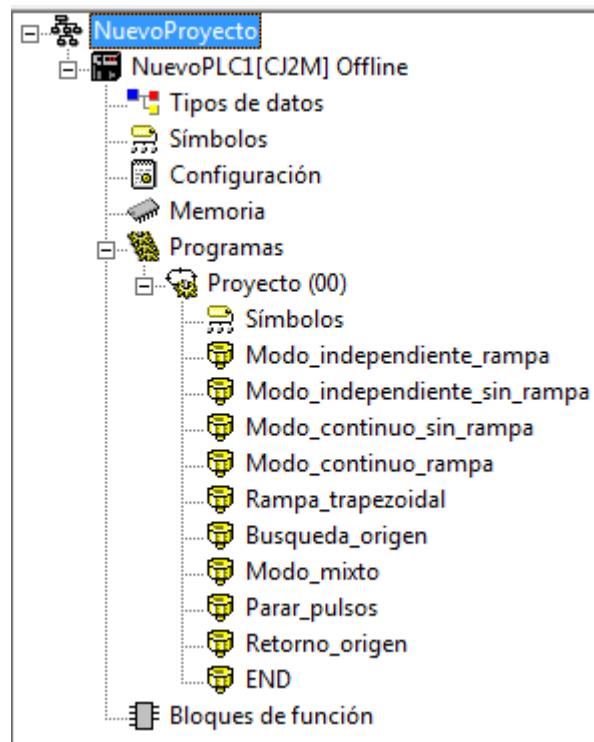
Mediante el cuadro de mando el usuario podrá interactuar con la máquina pick & place representada en esta ventana moviendo los distintos motores y bajando el cabezal, para así poder observar y comprender los distintos movimientos que se pueden conseguir a lo largo de los ejes que la componen (X, Y, Z). También se podrá visualizar una de las funciones más importantes que debe incorporar cualquier máquina de control de ejes como es la búsqueda de origen

ANEXO II

DOCUMENTACIÓN DEL

CÓDIGO PLC.

La parte correspondiente a CX-Programmer del presente proyecto, ha quedado organizada de la siguiente manera:



En las siguientes páginas se mostrará el código del PLC que se ha creado en las distintas secciones de dicho proyecto, para conseguir un control de velocidad y de posición adecuado en el servomotor empleado.

NOTA: Se mostrará el código del PLC de dos formas diferentes (diagrama de relés y listas de estado), para que el usuario que lea dicho código pueda entenderlo fácilmente en función de la forma que le resulte más cómodo de visualizar y comprender.

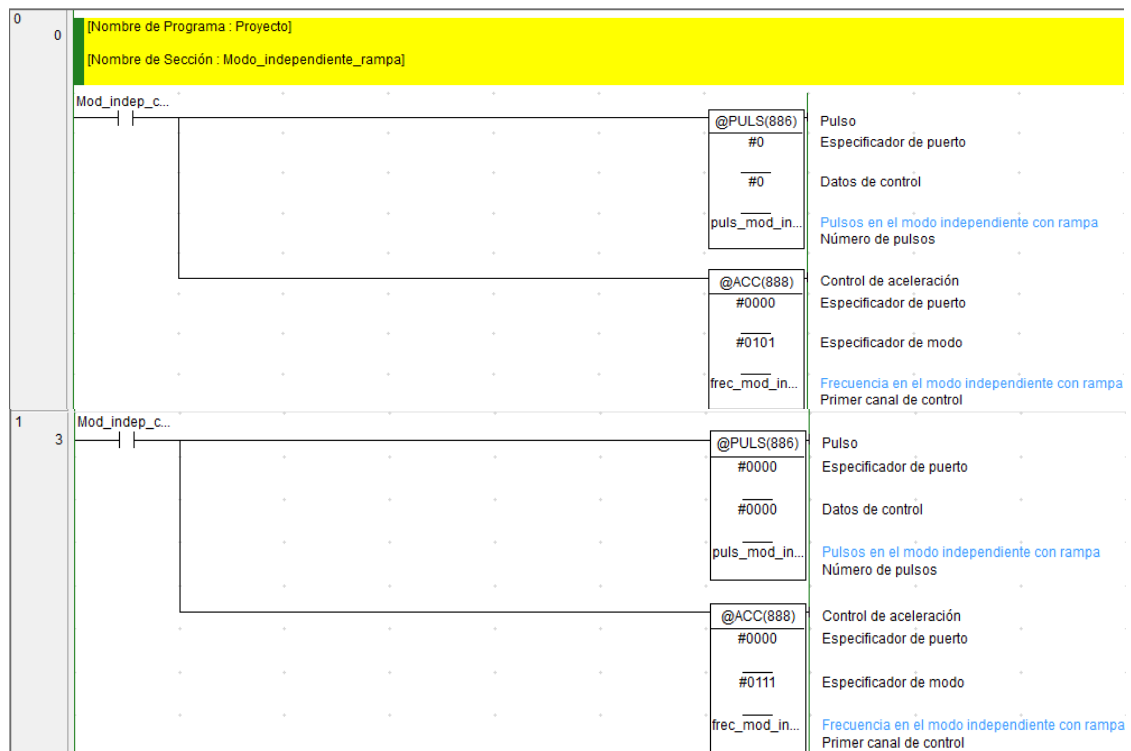
Proyecto (00)

Mod_independiente_rampa

Esta sección permitirá al usuario activar el modo de control de posición o independiente produciéndose rampas de aceleración / deceleración. También se podrá seleccionar el sentido de giro del servomotor para dicho modo de control.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

LD Mod_indep_con_rampaCW

@PULS(886) #0 #0 puls_mod_indep_rampa

@ACC(888) #0000 #0101 frec_mod_indep_rampa

LD Mod_indep_con_rampaCCW

@PULS(886) #0000 #0000 puls_mod_indep_rampa

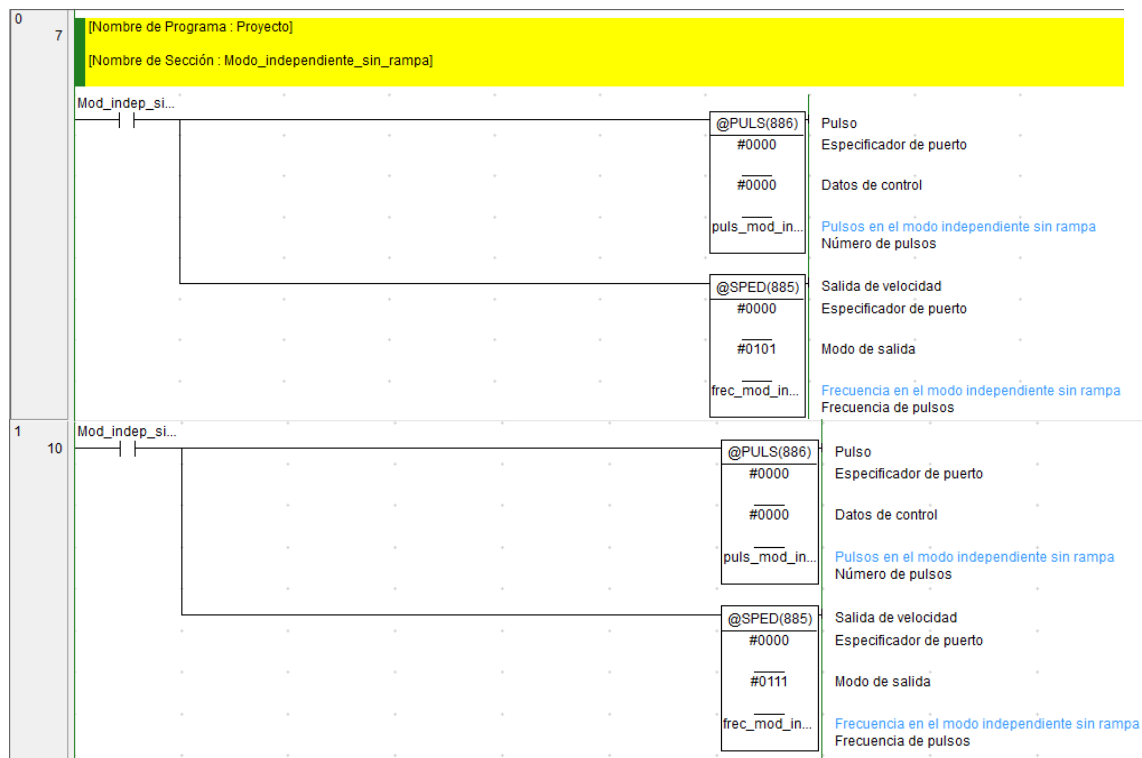
@ACC(888) #0000 #0111 frec_mod_indep_rampa

Mod_independiente_sin_rampa

Esta sección permitirá al usuario activar el modo de control de posición o independiente sin que se produzcan rampas de aceleración ni deceleración. También se podrá seleccionar el sentido de giro del servomotor para dicho modo de control.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

```
LD Mod_indep_sin_rampaCW
@PULS(886) #0000 #0000 puls_mod_indep_no_rampa
@SPED(885) #0000 #0101 frec_mod_indep_no_rampa
```

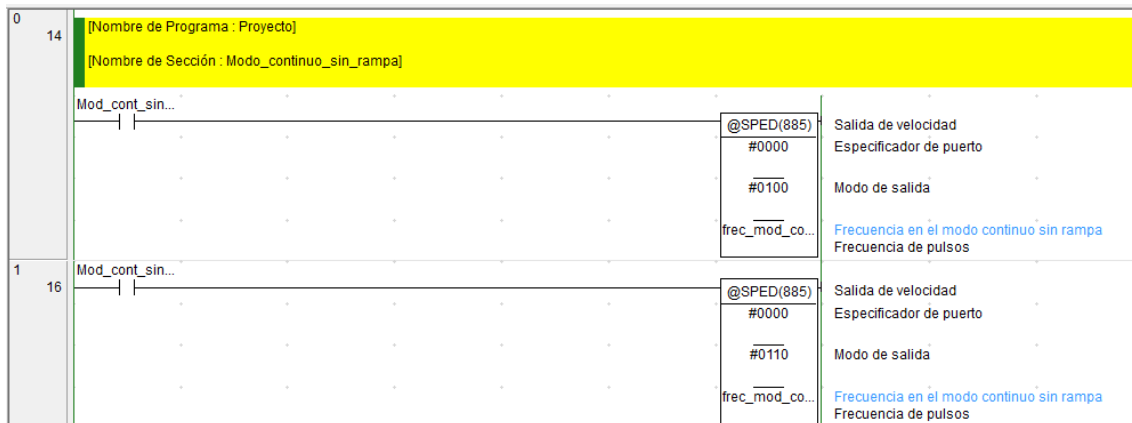
```
LD Mod_indep_sin_rampaCCW
@PULS(886) #0000 #0000 puls_mod_indep_no_rampa
@SPED(885) #0000 #0111 frec_mod_indep_no_rampa
```

Mod_continuo_sin_rampa

Esta sección permitirá al usuario activar el modo de control de velocidad o continuo sin que se produzcan rampas de aceleración ni deceleración. También se podrá seleccionar el sentido de giro del servomotor para dicho modo de control.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

LD Mod_cont_sin_rampaCW
@SPED(885) #0000 #0100 frec_mod_cont_no_rampa

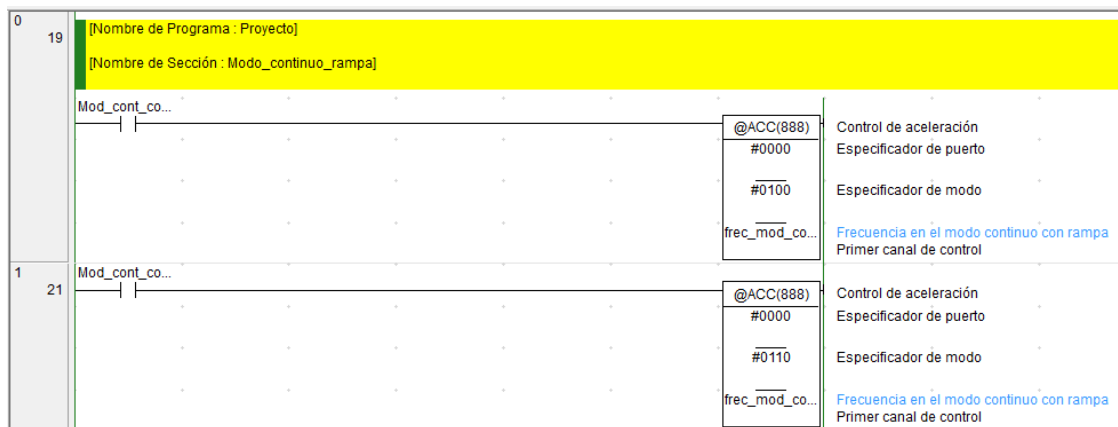
LD Mod_cont_sin_rampaCCW
@SPED(885) #0000 #0110 frec_mod_cont_no_rampa

Mod_continuo_rampa

Esta sección permitirá al usuario activar el modo de control de velocidad o continuo produciéndose rampas de aceleración / deceleración. También se podrá seleccionar el sentido de giro del servomotor para dicho modo de control.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

LD Mod_cont_con_rampaCW
@ACC(888) #0000 #0100 frec_mod_cont_rampa

LD Mod_cont_con_rampaCCW
@ACC(888) #0000 #0110 frec_mod_cont_rampa

Rampa trapezoidal

Esta sección permitirá al usuario activar el modo de control de posición o independiente con rampa trapezoidal. También se podrá seleccionar el sentido de giro del servomotor para dicho modo de control.

CÓDIGO

* Diagrama de relés

0	24	[Nombre de Programa : Proyecto] [Nombre de Sección : Rampa trapezoidal]			
		Rampa_trap_...		@PLS2(887)	Salida de pulsos
			#0000		Especificador de puerto
			#0100		Datos de control
		frec_inic_ra...			Frecuencia inicial en el modo independiente con rampa trapezoidal
		param_ramp...			Primer canal de parámetro
					Parámetros del modo independiente con rampa trapezoidal
					Primer canal de frecuencia de inicio
1	26	Rampa_trap_...		@PLS2(887)	Salida de pulsos
			#0000		Especificador de puerto
			#0110		Datos de control
		frec_inic_ra...			Frecuencia inicial en el modo independiente con rampa trapezoidal
		param_ramp...			Primer canal de parámetro
					Parámetros del modo independiente con rampa trapezoidal
					Primer canal de frecuencia de inicio

* Lista de estado

LD Rampa_trap_CW

@PLS2(887) #0000 #0100 frec_inic_rampa_trap param_ramp_trap

LD Rampa_trap_CCW

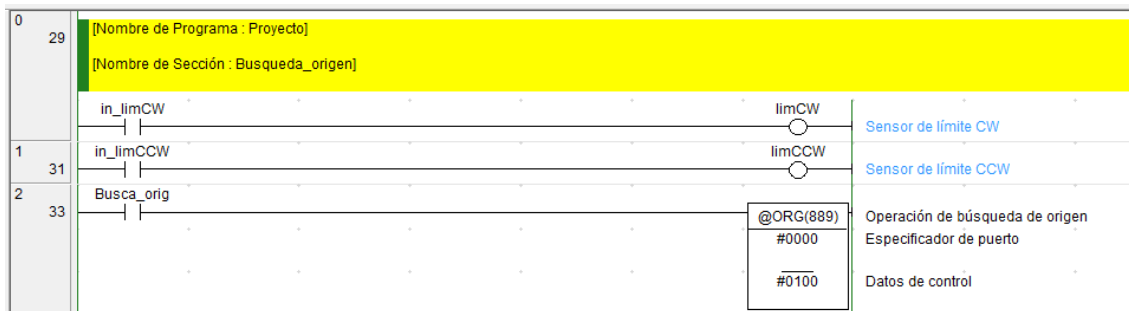
@PLS2(887) #0000 #0110 frec_inic_rampa_trap param_ramp_trap

Busqueda_origen

Esta sección permitirá al usuario activar el modo de operación de búsqueda del origen. Incorpora los sensores límites de sentido CW o CCW, para que en caso de no encontrar las señales referidas la búsqueda del origen, el servomotor pueda invertir su giro e incluso detenerse hasta una nueva orden del usuario.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

LD in_limCW
OUT limCW

LD in_limCCW
OUT limCCW

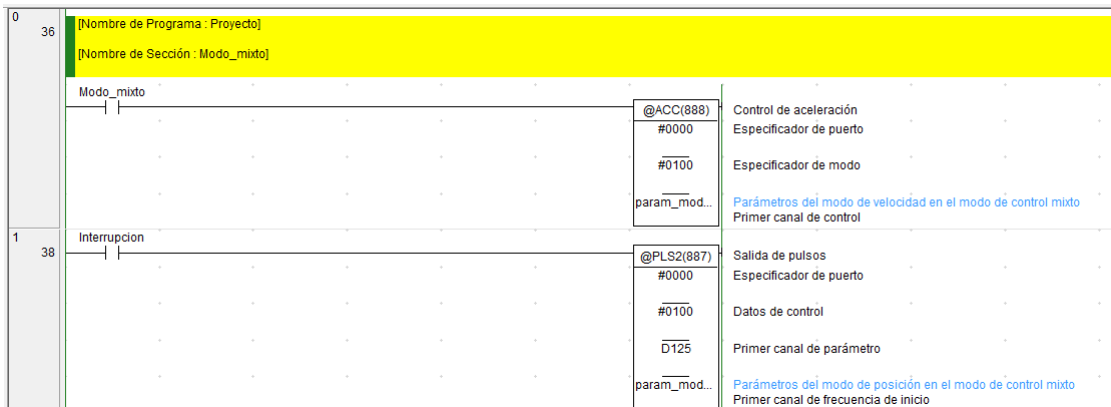
LD Busca_orig
@ORG(889) #0000 #0100

Modo_mixto

Esta sección permitirá al usuario activar el modo de control mixto, en la cual el sistema pasará de un modo de control de velocidad o continuo con rampa de aceleración a un modo de control de posición o independiente con rampa de deceleración mediante la activación de una interrupción.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

LD Modo_mixto

@ACC(888) #0000 #0100 param_mod_mixto_vel

LD Interrupcion

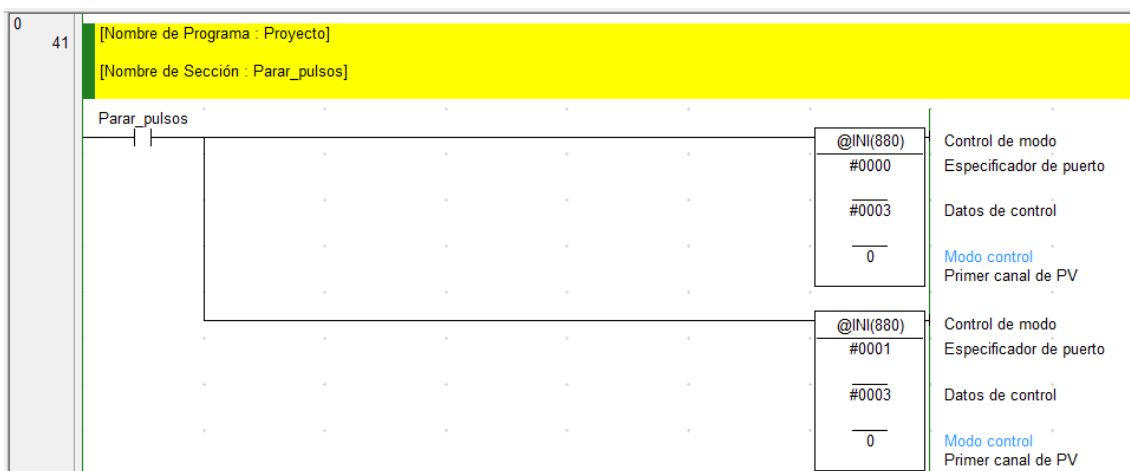
@PLS2(887) #0000 #0100 D125 param_mod_mixto_posic

Parar_pulsos

Esta sección permitirá al usuario detener el tren de pulsos a la salida. Este modo será bastante útil para detener la salida de pulsos después de haber ejecutado cualquier tipo de modo de control continuo o de velocidad, o incluso para parar los pulsos en la salida en caso de que se detecte alguna anomalía en el sistema.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

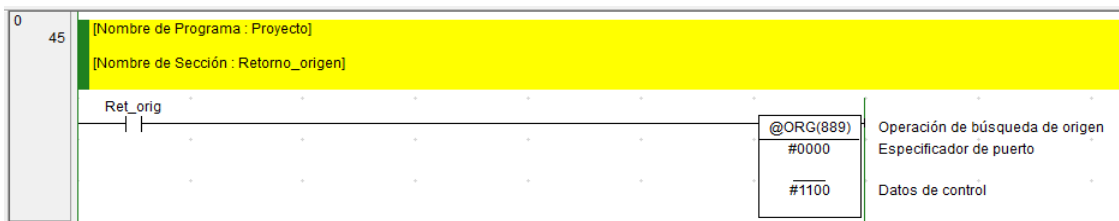
LD Parar_pulsos
@INI(880) #0000 #0003 0
@INI(880) #0001 #0003 0

Retorno_origen

Esta sección permitirá al usuario activar la operación de retorno al origen del servomotor. Se usa para retornar el sistema a un origen de referencia cuando previamente se ha establecido dicho origen de referencia y, posterior a esto, se ha ejecutado alguna instrucción de posicionado que ha hecho que el sistema se desplace de tal origen.

CÓDIGO

* Diagrama de relés



* Lista de estado

LD Ret_orig
@ORG(889) #0000 #1100

END

Con esta sección finalizaría dicho programa y se debe poner obligatoriamente para que las instrucciones se ejecuten sin ningún tipo de problema.

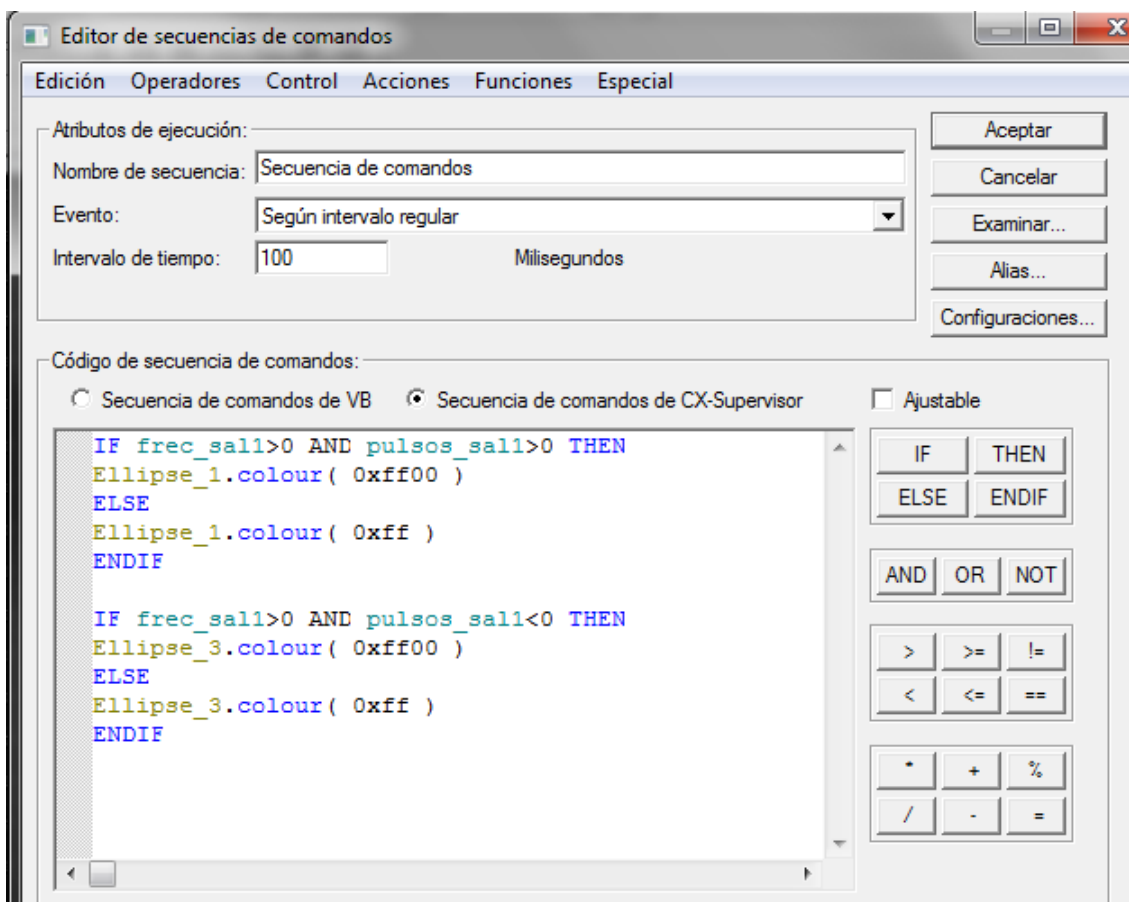
ANEXO III
DOCUMENTACIÓN DE
LOS SCRIPTS.

A continuación se muestran pequeños fragmentos de código en lenguaje de programación Visual Basic Script, que ha sido necesario crear en las distintas páginas del SCADA para poder obtener diferentes animaciones en dichas ventanas de la interfaz usuario-máquina.

- Las distintas ventanas del SCADA que contienen dichos fragmentos de código en sus páginas son:

C.VELOCIDAD

Para que el usuario pueda saber en qué sentido se encuentran girando el motor en cada instante, se han creado dos elipses y se ha creado el código que se muestra a continuación.



La función de dicho código es que la elipse asociada al sentido CW del motor se ponga en verde en caso de que la frecuencia de salida y el número de pulsos de salida sean positivos, lo que indicaría que están saliendo pulsos y que al ser positivos el motor giraría en sentido horario. Por otra parte la otra elipse asociada al sentido CCW del motor, se pondrá en verde cuando la frecuencia de salida sea positiva y el número de pulsos de salida tenga valor negativo, lo que indicaría que están saliendo pulsos en sentido antihorario.

C.POSICION

Para que el usuario pueda saber en qué sentido se encuentran girando el motor en cada instante, se han usado las mismas elipses que en la ventana de Control de Velocidad para así poder asociarle el mismo código.

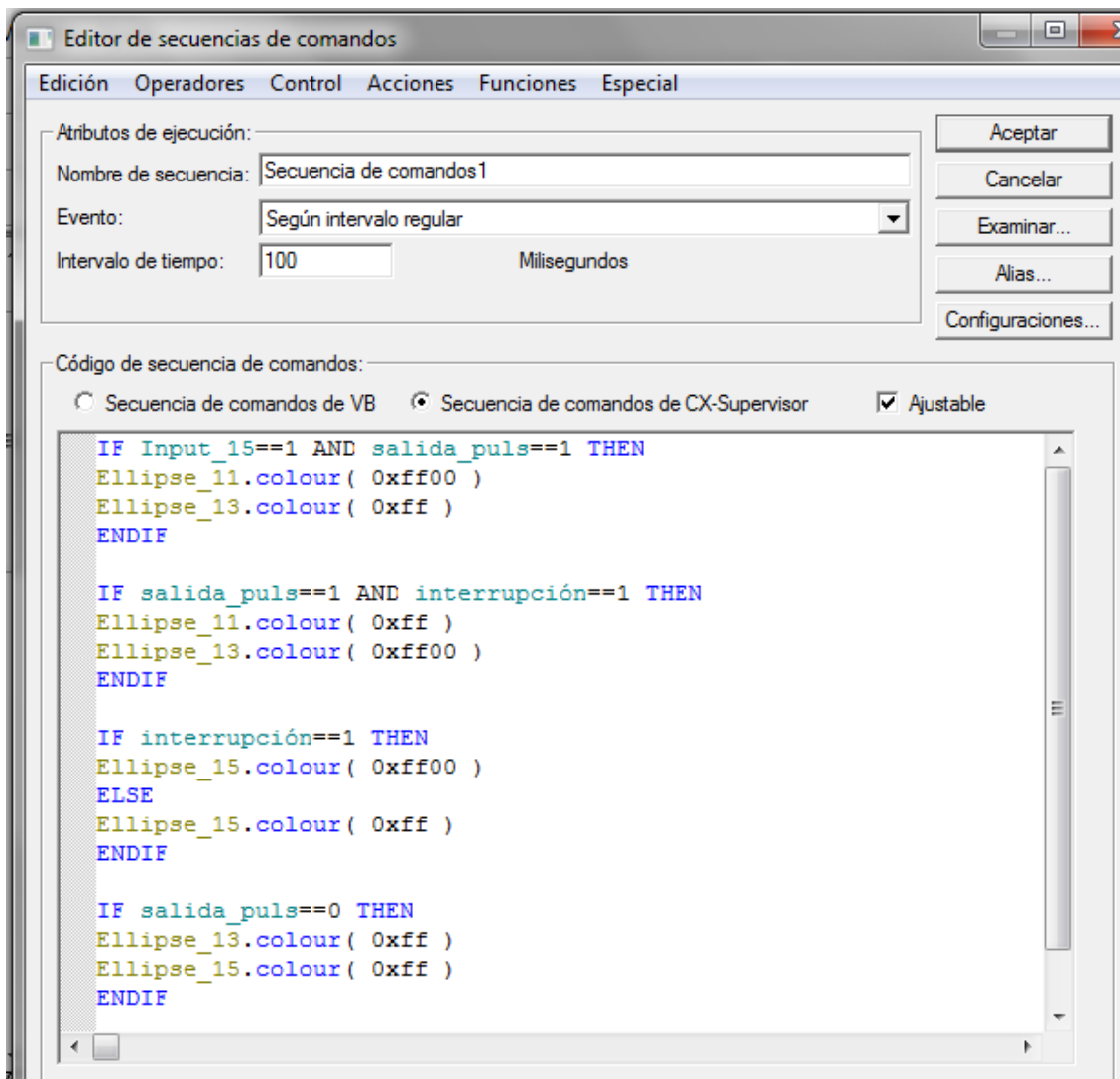
```
IF frec_sal1>0 AND pulsos_sal1>0 THEN
Ellipse_1.colour( 0xff00 )
ELSE
Ellipse_1.colour( 0xff )
ENDIF

IF frec_sal1>0 AND pulsos_sal1<0 THEN
Ellipse_3.colour( 0xff00 )
ELSE
Ellipse_3.colour( 0xff )
ENDIF
```

La función es la misma que se explicó anteriormente en la ventana de Control de Velocidad.

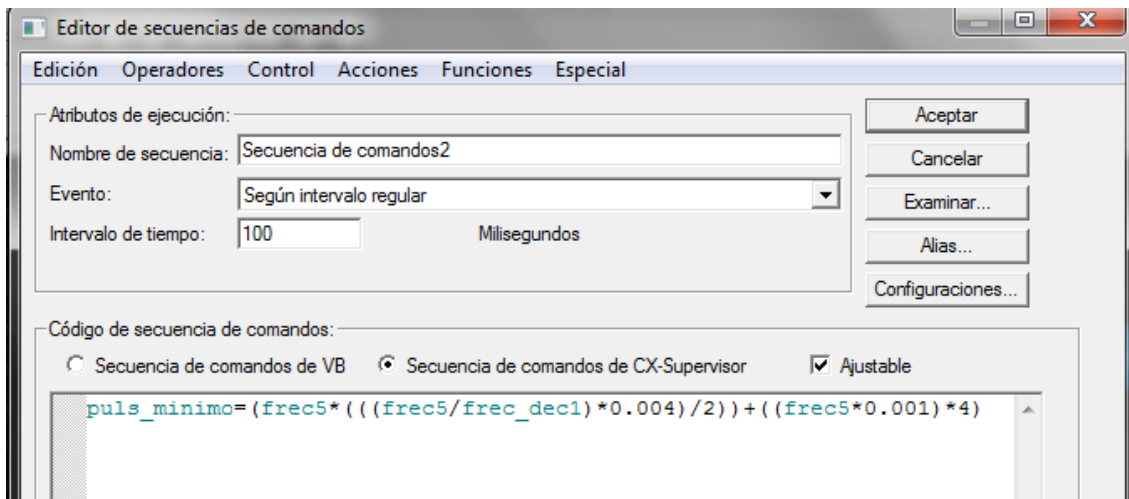
C.MIXTO

a) Para que el usuario pueda saber en el modo de control mixto en qué estado se encuentra el módulo de pulsos en cada momento, si está en el modo de control de velocidad o en el modo de control de posición, y saber además cuando se ha activado la interrupción que provoca la conmutación entre ambos métodos de control. Se han creado tres elipses asociadas a la interrupción, otra al modo de control de velocidad y otra al modo de control de posición.

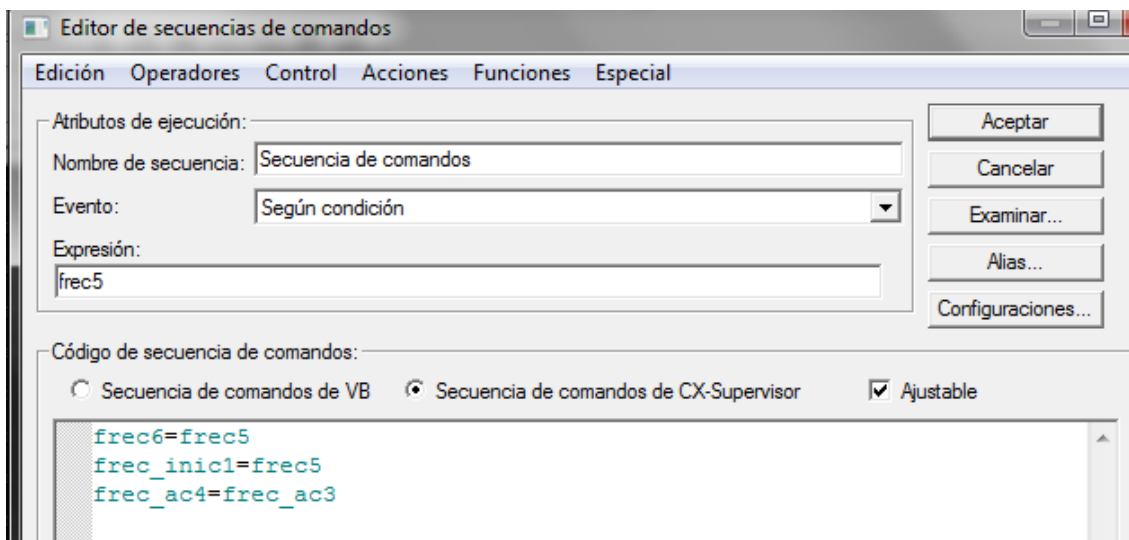


La función de dicho código es que en el momento que se active la entrada al PLC usada para activar dicho modo de control, se ponga de color verde la elipse asociada al método de control de velocidad. Posteriormente las elipses asociadas a la interrupción y al modo de control de posición se pongan en verde cuando la entrada al PLC usada para la interrupción de dicho modo de control se active.

b) Para que el programa calcule el valor mínimo de pulsos que se deben introducir en el parámetro asociado al número de pulsos, una vez que se hayan introducido los parámetros de frecuencia objetivo y frecuencia de deceleración. De esta forma el usuario podrá ver en dicha ventana del SCADA ese valor mínimo de pulsos que debe introducir para que al activar la interrupción el programa conmute de un modo de control a otro sin ningún problema. En caso de no respetar dicho valor mínimo, al activar la interrupción el programa no responderá ante la misma.



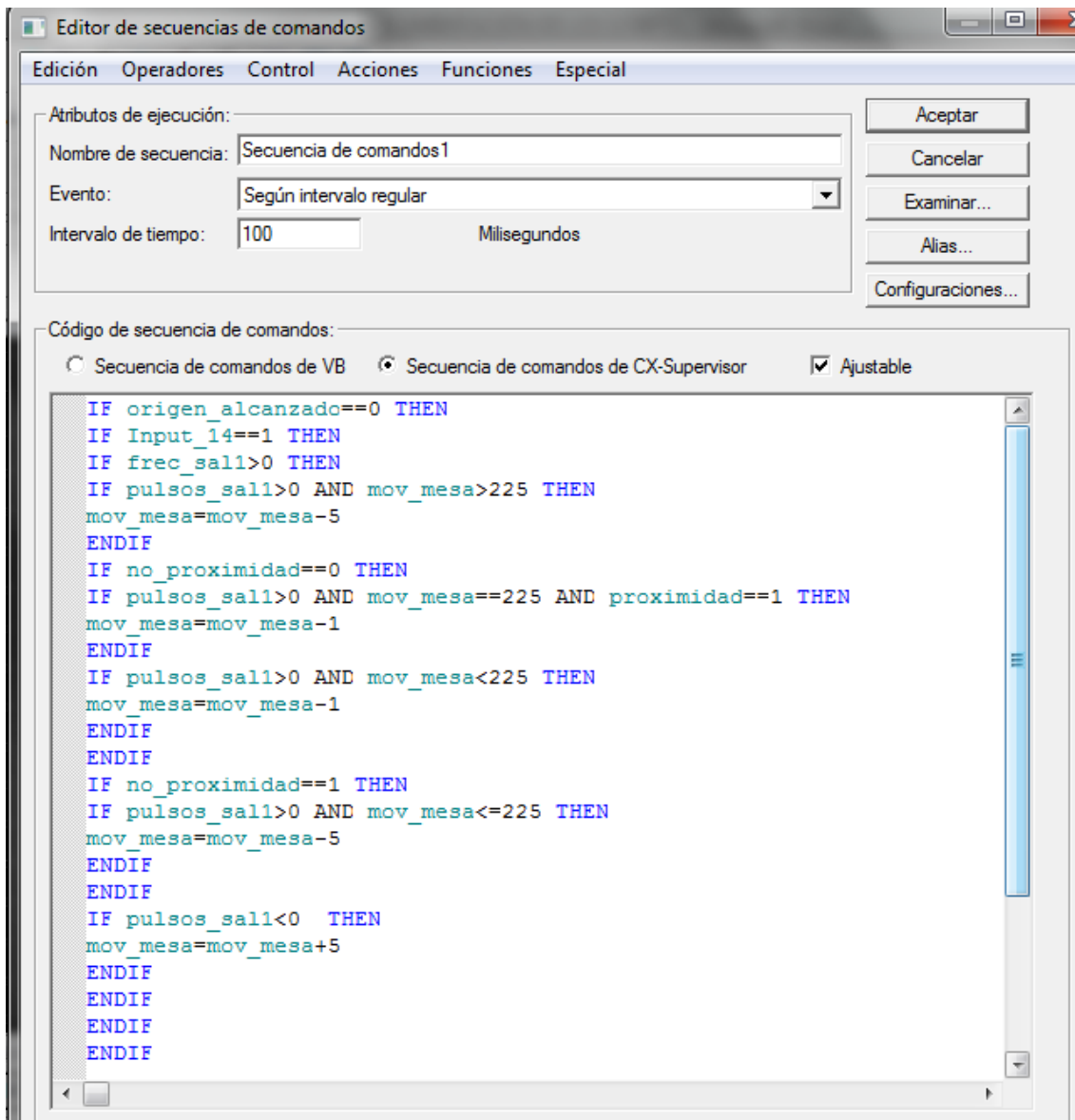
c) Para transferir los valores de frecuencia de aceleración, número de pulsos y frecuencia objetivo entre diferentes áreas de memoria DM se ha creado el siguiente fragmento de código. Dicha transferencia de datos es obligatoria para el correcto uso de dicho modo de control.



ORIGEN

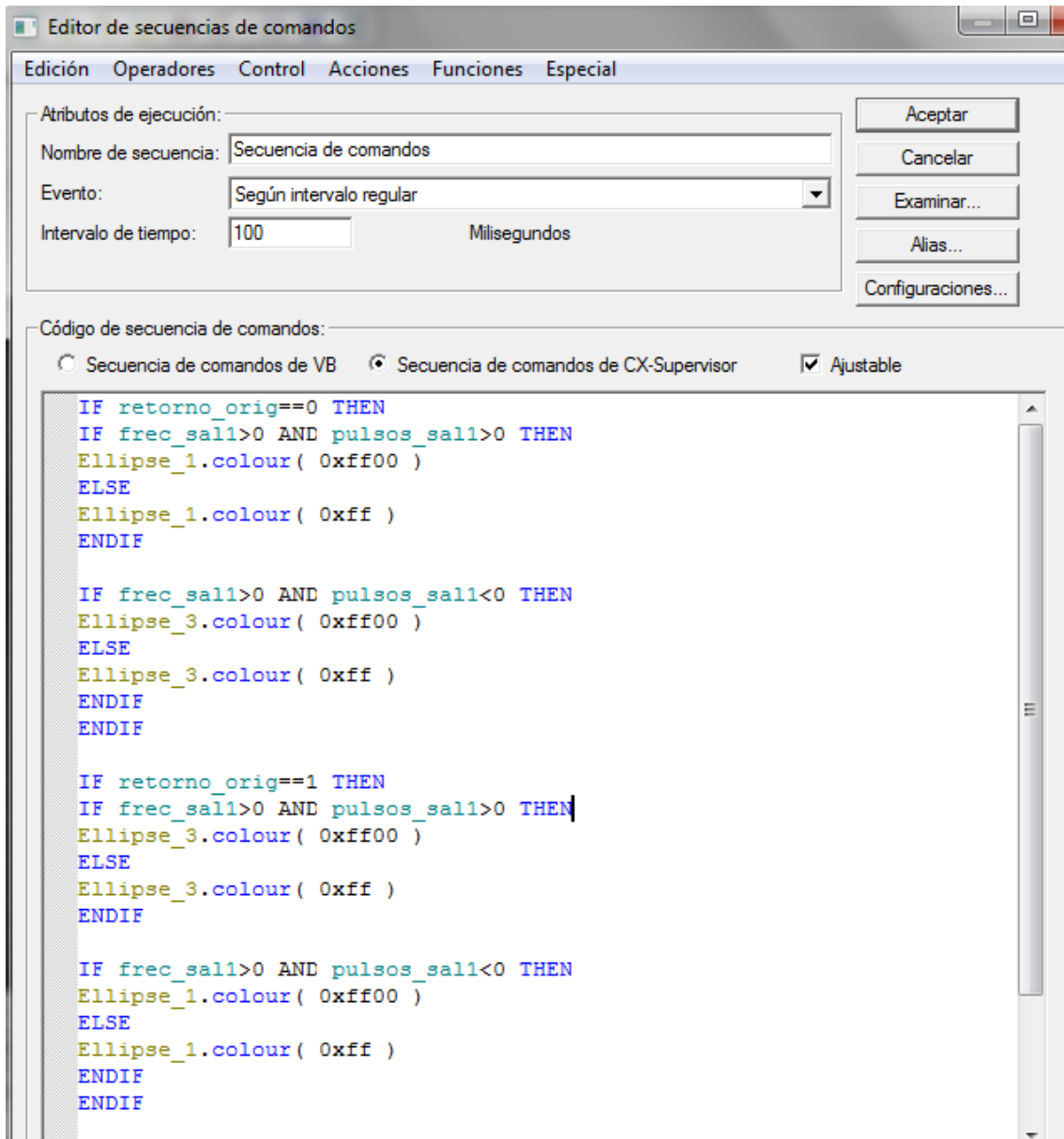
a) Para que el usuario pueda observar cómo se establece un origen de referencia en un husillo accionado mediante un servomotor, se ha creado una animación que se moverá a una velocidad más elevada hasta detectar el sensor de proximidad al origen y, posteriormente, a una velocidad menor que la anterior hasta que se detecte la señal de origen alcanzado donde cambiarán de color dos elipses asociadas al origen y origen establecido. Dicho código

permitirá que mediante la activación de un botón en esta ventana del SCADA, se simule la no detección del sensor de proximidad, por lo que el sistema no reduciría la velocidad y topará con el sensor de límite CW e invertirá el sentido de giro hasta alcanzar el sensor de límite CCW que será cuando el sistema se detenga.



La función de este código es que mientras esté activa la entrada del PLC que activa la búsqueda del origen, la animación se mueva simulando como sería en la realidad dicha operación. Y que el usuario pueda simular si se detecta o no el sensor de proximidad para ver la respuesta del sistema en los distintos casos posibles. Dicha animación no se moverá en el retorno al origen o en la activación de cualquier tipo de instrucción de velocidad o posicionado. Para que el usuario pueda visualizar si el sistema se ha desplazado del origen o se encuentra en el mismo tendremos la elipse que se ha comentado anteriormente asociada al origen.

b) Para que el usuario pueda saber en qué sentido se encuentran girando el motor en cada instante, se han creado dos elipses y se ha creado el código que se muestra a continuación.



En este caso el código es más complejo que en las ventanas de control de posición y control de velocidad, puesto que al activar la operación de retorno al origen los pulsos de salida no varían el signo al invertir el sentido de giro hacia la posición de inicio, sino que se van reduciendo hasta alcanzar en cero. Por tanto en esta ventana para conseguir ver en qué sentido gira el motor, se ha añadido un pequeño fragmento de código más debido al retorno al origen.

SIMULACIÓN

a) Para que el usuario pueda comprender los distintos movimientos de un servomotor industrial mediante la simulación del movimiento de ejes de una pick & place, se ha creado el siguiente código para conseguir dicha animación según un intervalo regular de 80 milisegundos.

```
IF SETA2==FALSE THEN
```

```
IF izq==1 THEN
```

```
EjeX=EjeX-5
```

```
ENDIF
```

```
IF der==1 THEN
```

```
EjeX=EjeX+5
```

```
ENDIF
```

```
IF EjeX==195 THEN
```

```
LimCWx=1
```

```
ELSE
```

```
LimCWx=0
```

```
ENDIF
```

```
IF EjeX==490 THEN
```

```
LimCCWx=1
```

```
ELSE
```

```
LimCCWx=0
```

```
ENDIF
```

```
IF adelante==1 THEN
```

```
EjeY=EjeY-2
```

```
ENDIF
```

```
IF atras==1 THEN
```

```
EjeY=EjeY+2
```

```
ENDIF
```

```
IF EjeY==0 THEN
LimCCWy=1
ELSE
LimCCWy=0
ENDIF
IF EjeY==-238 THEN
LimCWy=1
ELSE
LimCWy=0
ENDIF
IF diag1==1 THEN
EjeX=EjeX-5
EjeY=EjeY-2
ENDIF
IF diag2==1 THEN
EjeX=EjeX+5
EjeY=EjeY-2
ENDIF
IF diag3==1 THEN
EjeX=EjeX-5
EjeY=EjeY+2
ENDIF
IF diag4==1 THEN
EjeX=EjeX+5
EjeY=EjeY+2
ENDIF
IF origen2==1 AND EjeX>230 THEN
EjeX=EjeX-5
ENDIF
```

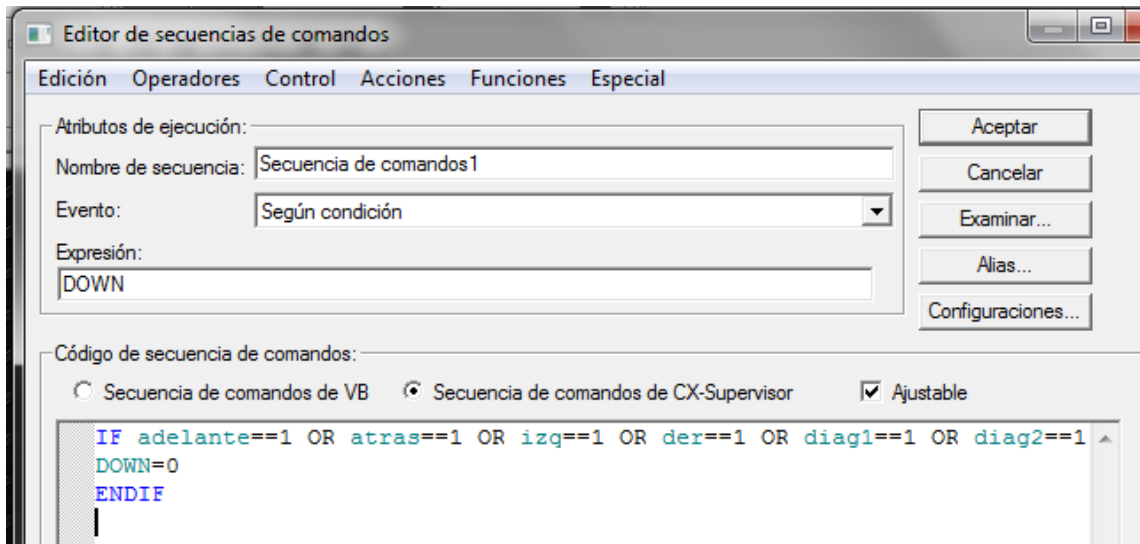
```

IF origen2==1 AND EjeX>205 AND EjeX<=230 THEN
EjeX=EjeX-1
ENDIF
IF origen2==1 AND EjeX<205 THEN
EjeX=EjeX+5
ENDIF
IF origen2==1 AND EjeY>-22 THEN
EjeY=EjeY-2
ENDIF
IF origen2==1 AND EjeY<-22 AND EjeY>=-44 THEN
EjeY=EjeY+1
ENDIF
IF origen2==1 AND EjeY<-44 THEN
EjeY=EjeY+2
ENDIF
IF EjeX==205 AND EjeY==-22 THEN
origen2=0
ENDIF
ENDIF

```

La función de dicho código será mover los motores de los ejes X e Y dentro de sus sensores de límites, los cuales se pondrán en verde cuando el sistema los alcance. También permitirá al usuario simular la subida y baja del cabezal, e incluso observar los distintos ángulos de rotación que se puede conseguir en el eje Z. Se ha visto necesario incorporar la opción de retorno al origen (HOME) para que el usuario pueda adquirir una mejor visión del mismo.

b) El código que se muestra a continuación permitirá simular una parada de emergencia para detener el movimiento de los servomotores que componen el sistema y que el proceso quede congelado.

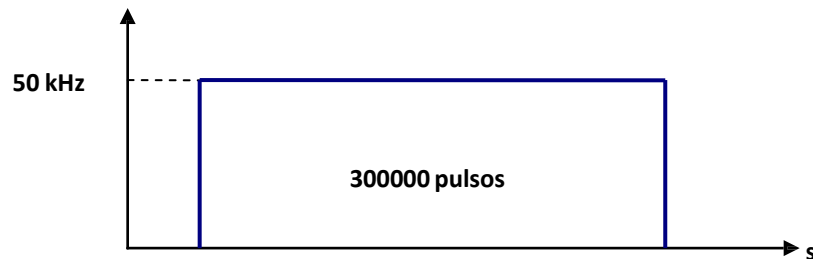


ANEXO IV

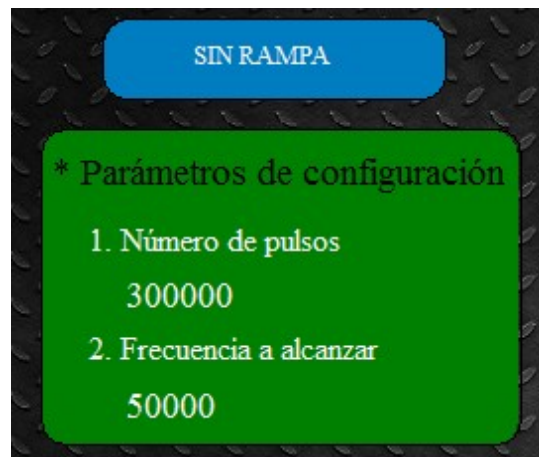
MANUAL DE ACTIVIDADES.

Actividad 1

Salida de 300000 pulsos en sentido antihorario, sin rampa y a una velocidad de 50 kHz.

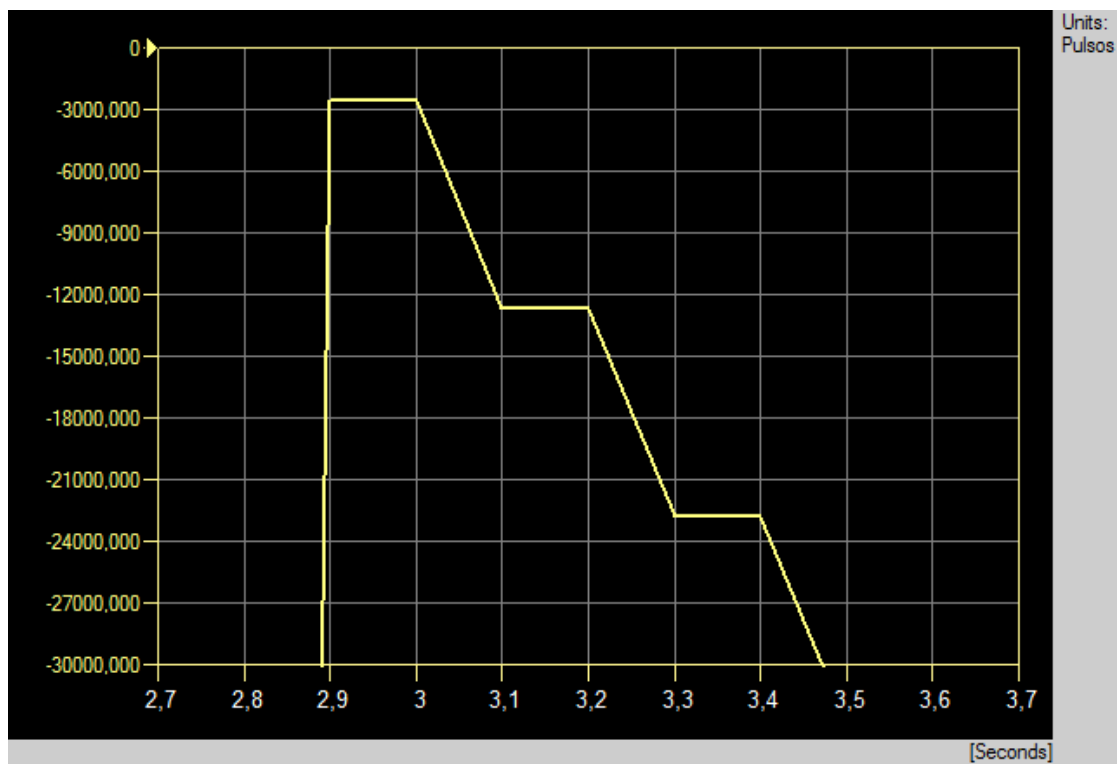
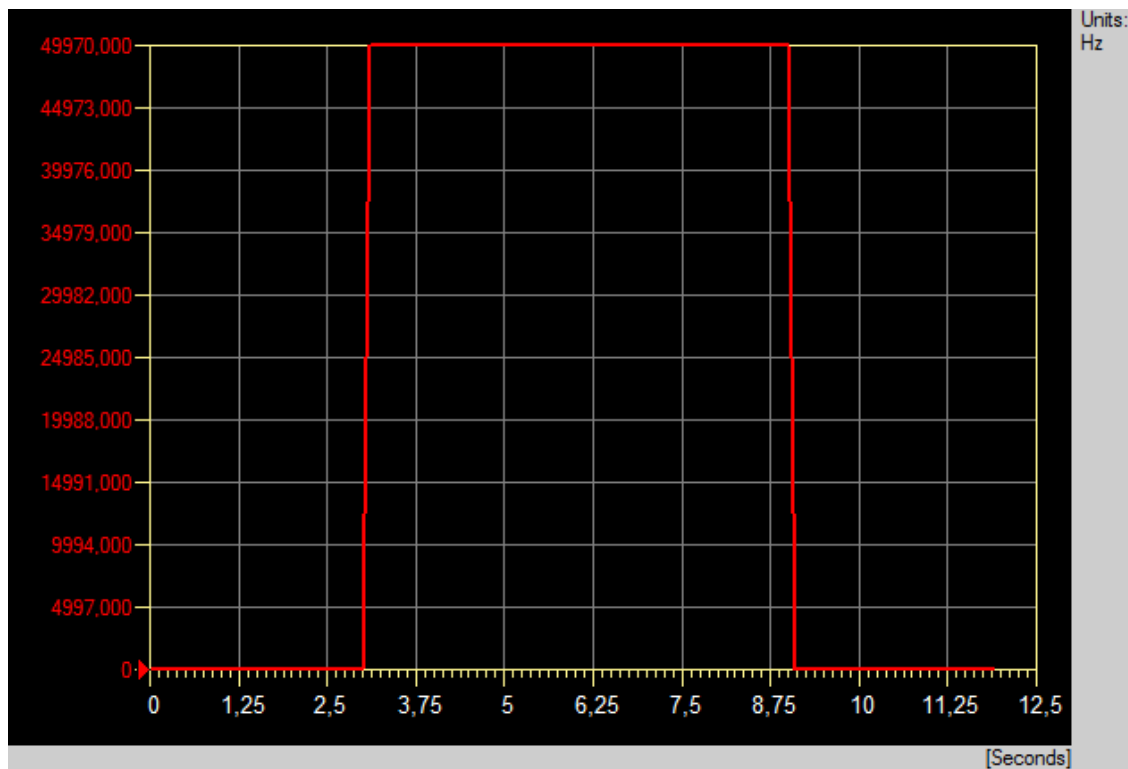


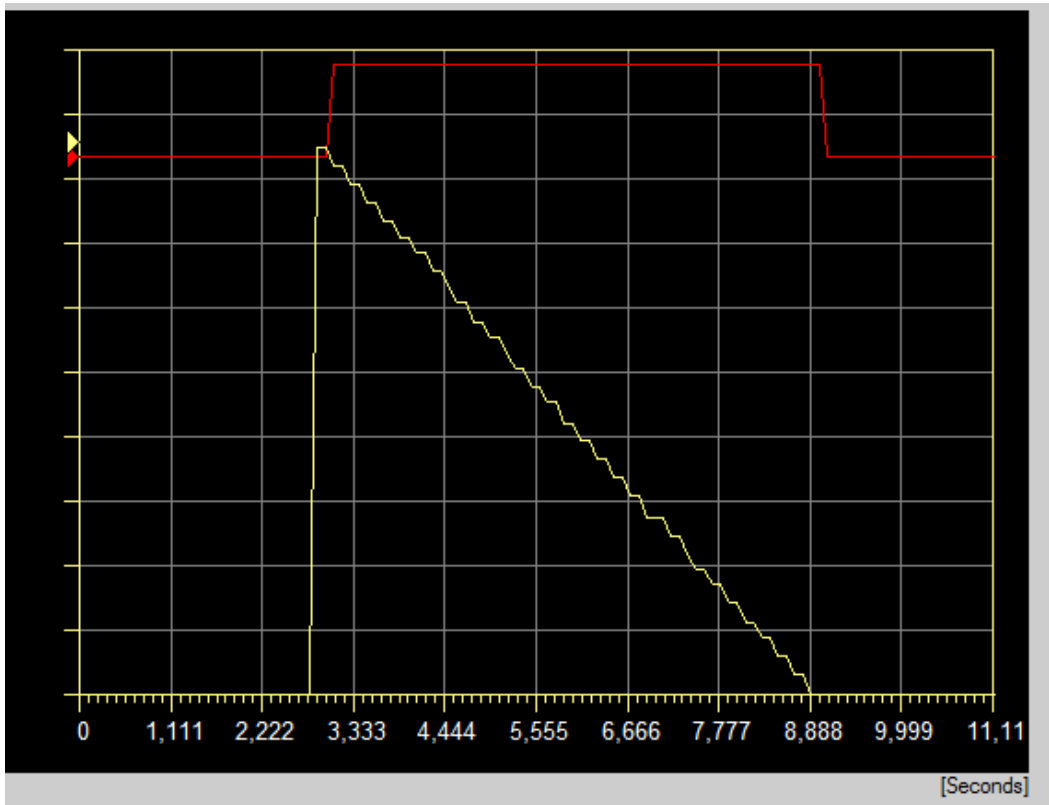
1. En primer lugar nos vamos a la ventana del SCADA de Control de Posición y modificamos los parámetros de configuración del modo independiente sin rampa. Introducimos los siguientes parámetros:



2. Activamos la entrada I 0.01 del módulo de E/S digitales, la cual nos habilitará dicho modo de control en sentido antihorario (CCW). Mediante estén saliendo pulsos tendremos activado el botón de toma de datos y configuraremos la opción "Time Chart Monitor" para visualizar la frecuencia de la salida de pulsos 0.

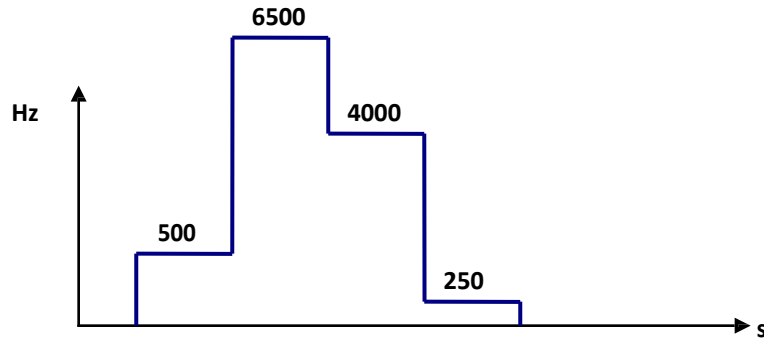
Los resultados obtenidos experimentalmente se mostrarán a continuación:





Actividad 2

Control de velocidad sin rampas de aceleración o deceleración en sentido horario. Se debe realizar la siguiente secuencia de velocidades: 500 Hz → 6500 Hz → 4000 Hz → 250 Hz.



1. En primer lugar nos vamos a la ventana del SCADA de Control de Velocidad y modificamos los parámetros de configuración del modo continuo sin rampa. Introducimos los siguientes parámetros:

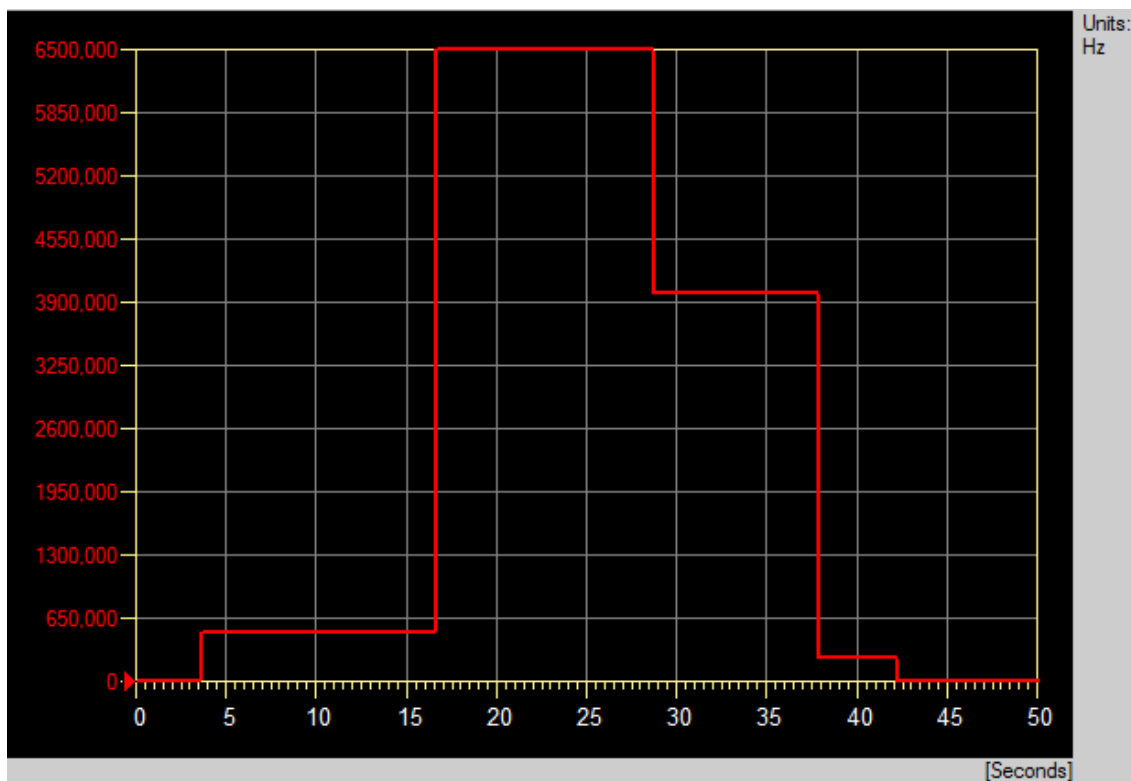


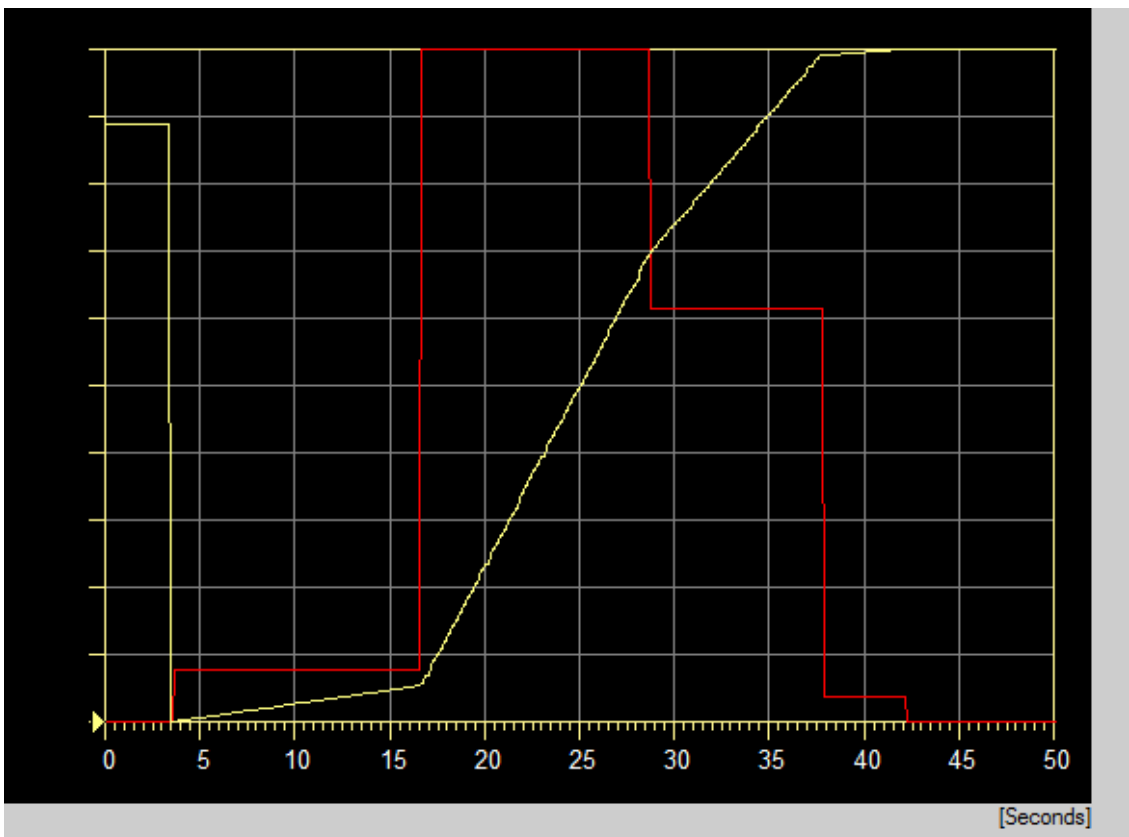
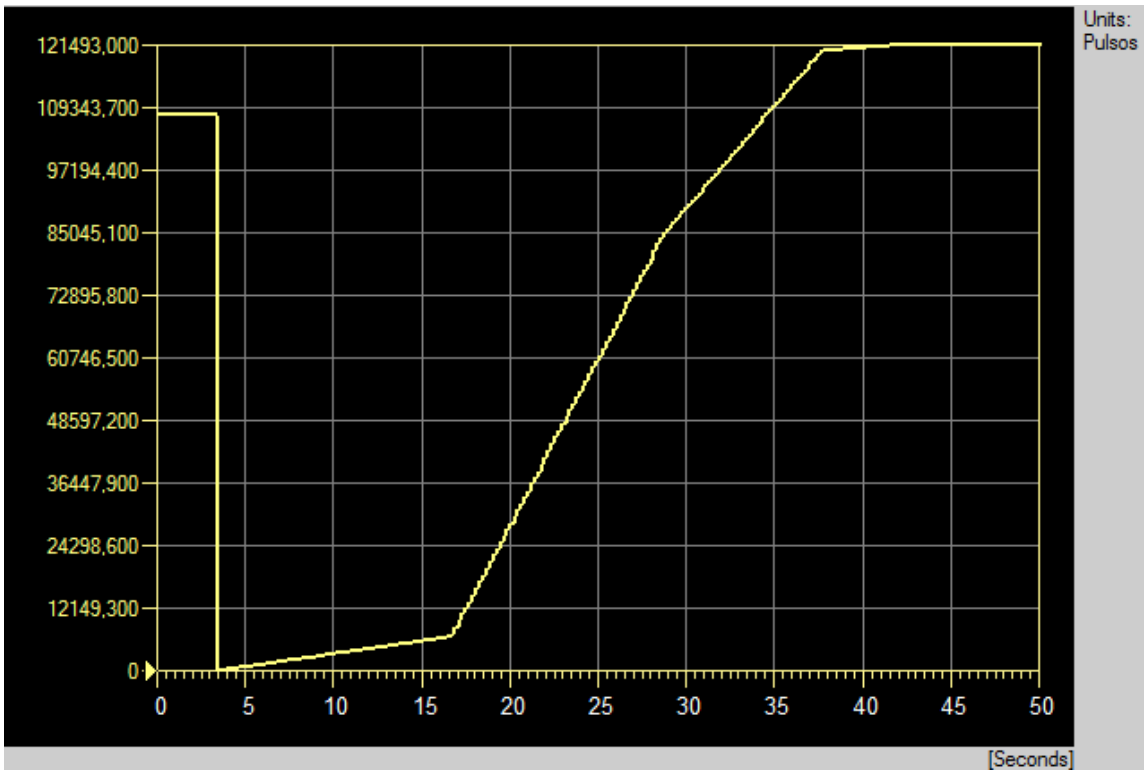
Como podemos observar en las gráficas, en primer lugar en el parámetro llamado "Frecuencia a alcanzar" introduciremos el valor 500 y seguidamente

activaremos el pulsador I0.04 para poner en marcha el modo continuo sin rampa en sentido horario. Una vez activado dicho interruptor, el usuario desactivará el mismo y modificará el parámetro “Frecuencia a alcanzar”, introduciendo como segundo valor 6500 y seguido de esto volveremos a activar el interruptor I0.04 para que dicho cambio de frecuencia surja efecto. Volveremos a realizar esta misma operación con los valores de frecuencia que se muestran en las gráficas anteriores 3 y 4, que son 4000 y 250 respectivamente.

2. Una vez que se han introducido todos los valores del parámetro “Frecuencia a alcanzar” y se han realizado los pasos necesarios, explicados anteriormente, para que dichos cambios surjan efecto en la salida de pulsos del módulo MD211, entonces se deberá parar la salida de pulsos ya que en modo continuo dicha salida de pulsos no parará automáticamente. Para ello se activará el interruptor I0.06 el cual tiene como función parar dicha salida de pulsos.

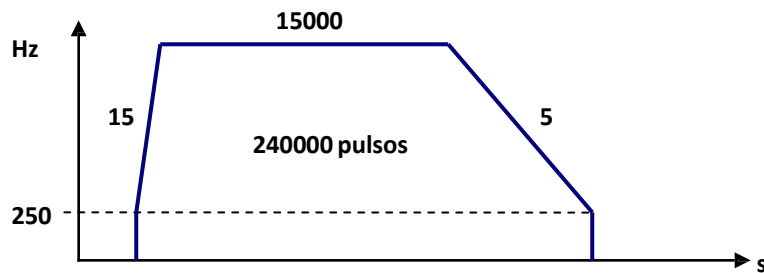
Los resultados obtenidos experimentalmente se mostrarán a continuación:





Actividad 3

Posicionado trapezoidal de 240000 pulsos en sentido horario, a una velocidad de 5 KHz, con una rampa de aceleración de 15Hz y una rampa de deceleración de 5 Hz. La velocidad inicial deberá ser de 250 Hz.



1. En primer lugar nos iremos a la ventana de Control de Posición del SCADA e introduciremos los parámetros correspondientes, en función del enunciado, en el apartado modo independiente con rampa trapezoidal.

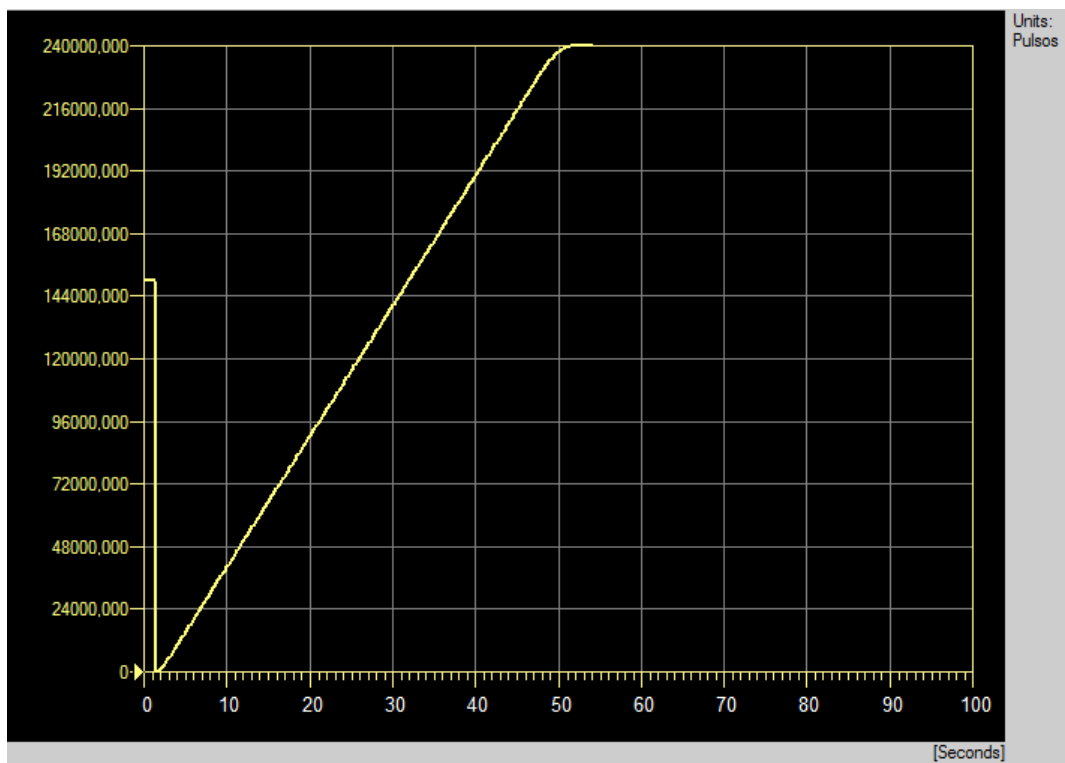
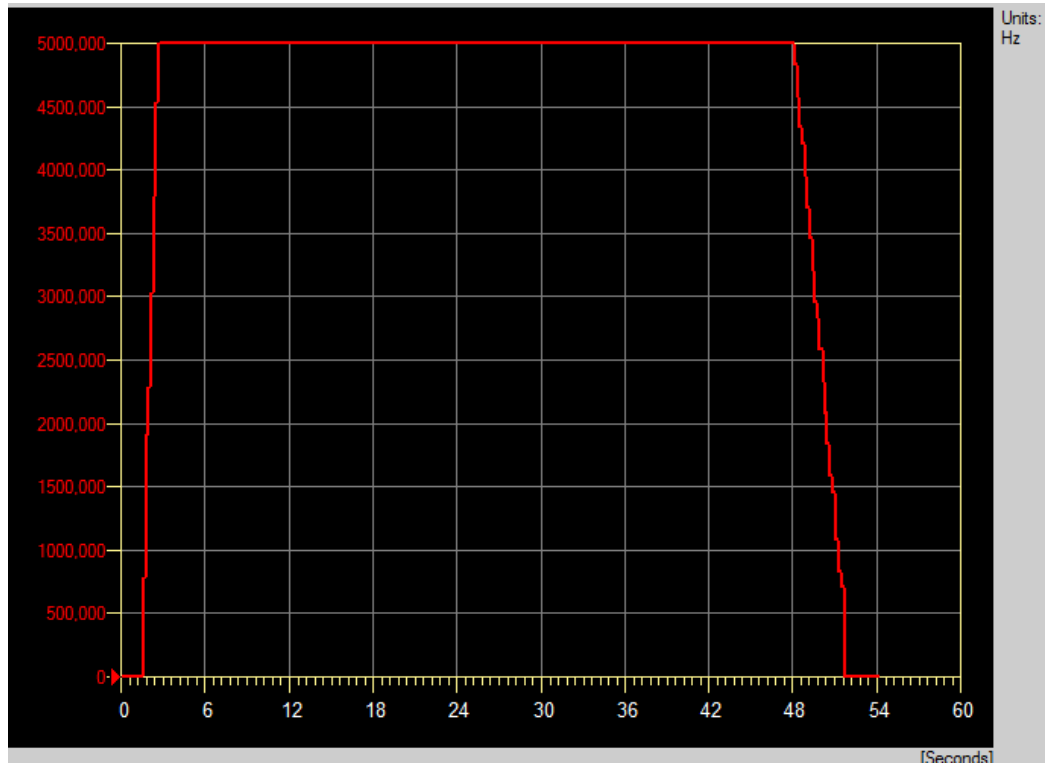
RAMPA TRAPEZOIDAL

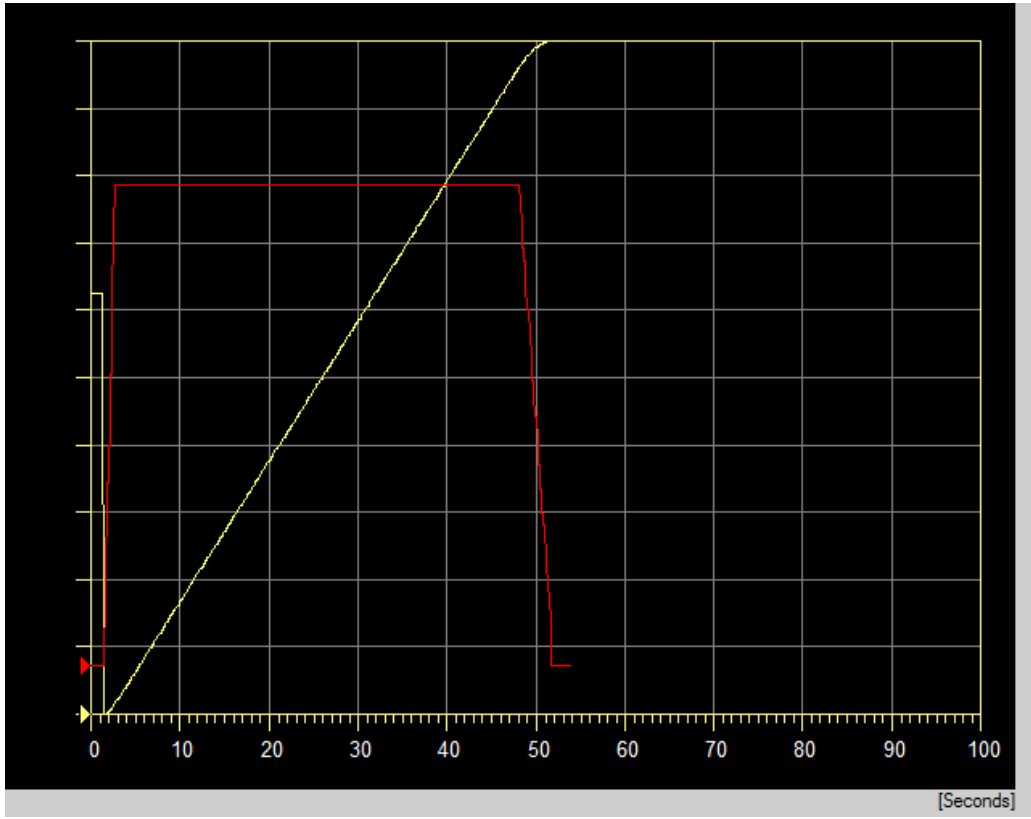
* Parámetros de configuración

1. Número de pulsos	4. Frecuencia de aceleración
240000	15
2. Frecuencia a alcanzar	5. Frecuencia de deceleración
5000	5
3. Frecuencia de inicio	
250	

2. Una vez que se hayan introducido los parámetros correspondientes, el siguiente paso será activar el interruptor externo que habilita dicho modo de control en sentido horario, en este caso será el interruptor IO.10.

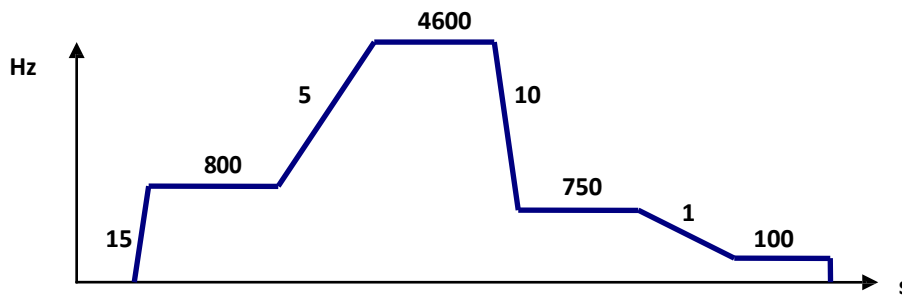
Los resultados obtenidos experimentalmente se mostrarán a continuación:





Actividad 4

Control de velocidad con rampas de aceleración y deceleración en sentido antihorario. Introducir la siguiente secuencia de velocidades con sus correspondientes rampas de aceleración o deceleración: 800Hz (aceleración 15Hz) → 4600Hz (aceleración 5 Hz) → 750Hz (deceleración 10 Hz) → 100 Hz (deceleración 1 Hz).



1. En primer lugar nos vamos a la ventana del SCADA de Control de Velocidad y modificamos los parámetros de configuración del modo continuo con rampa. Introducimos los siguientes parámetros:

1

CON RAMPA

* Parámetros de configuración

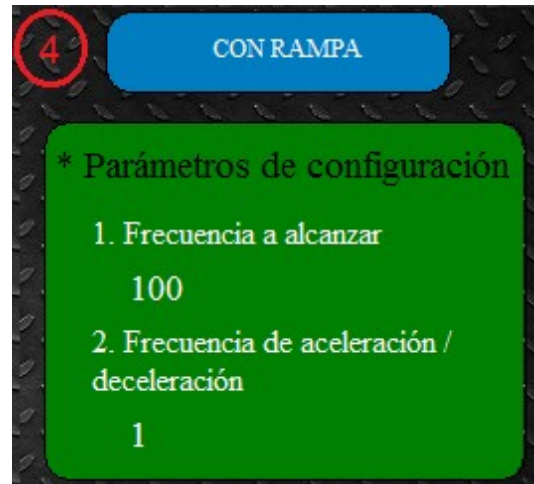
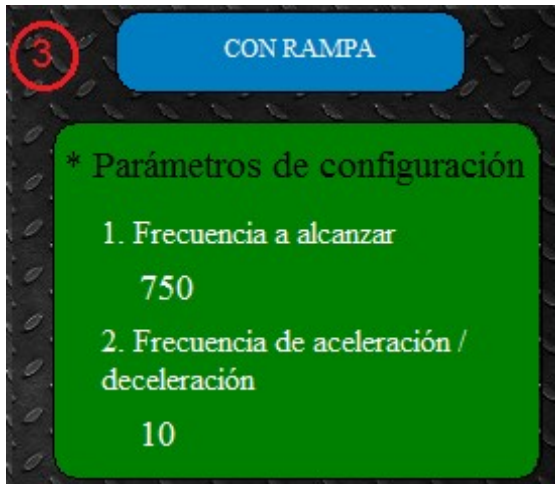
1. Frecuencia a alcanzar
800
2. Frecuencia de aceleración / deceleración
15

2

CON RAMPA

* Parámetros de configuración

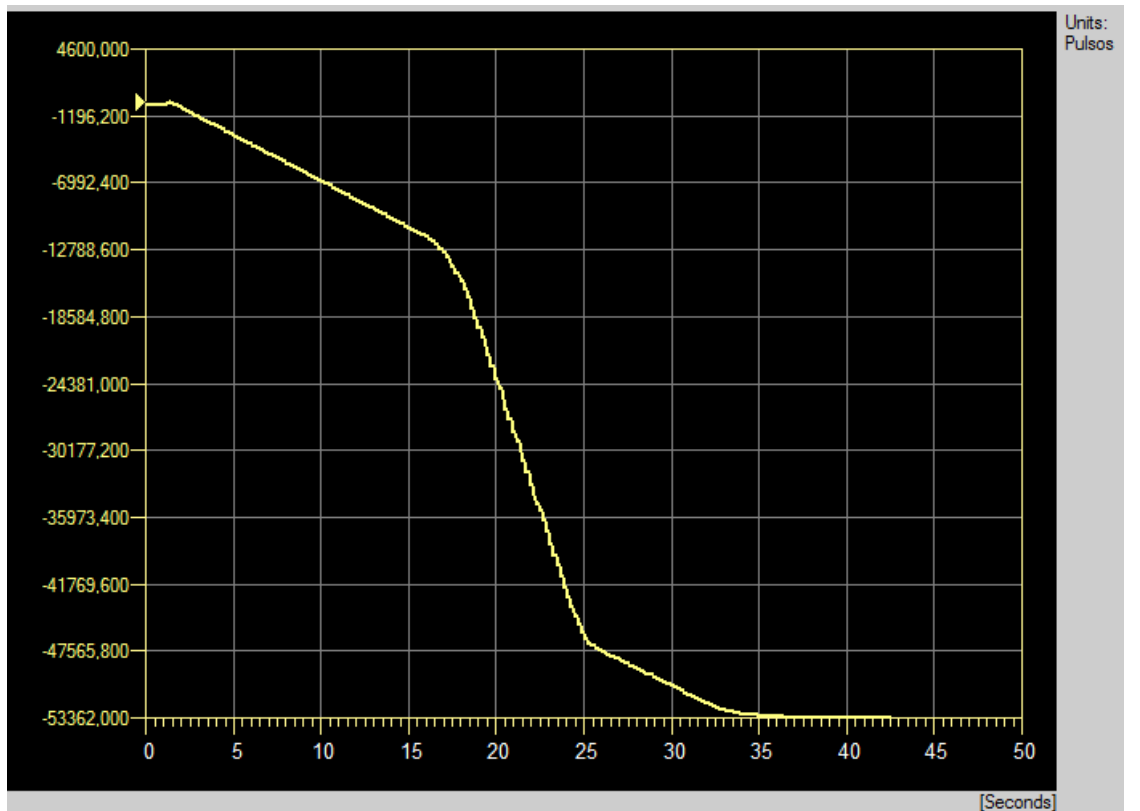
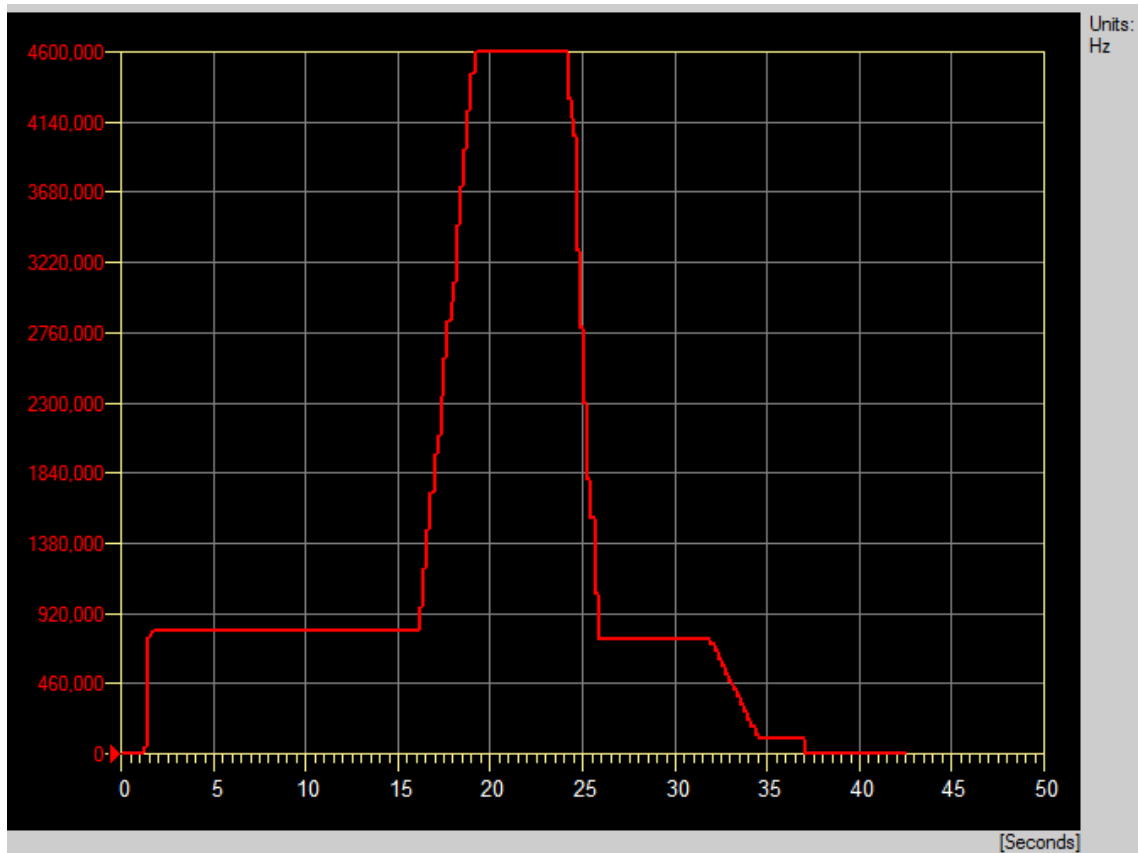
1. Frecuencia a alcanzar
4600
2. Frecuencia de aceleración / deceleración
5

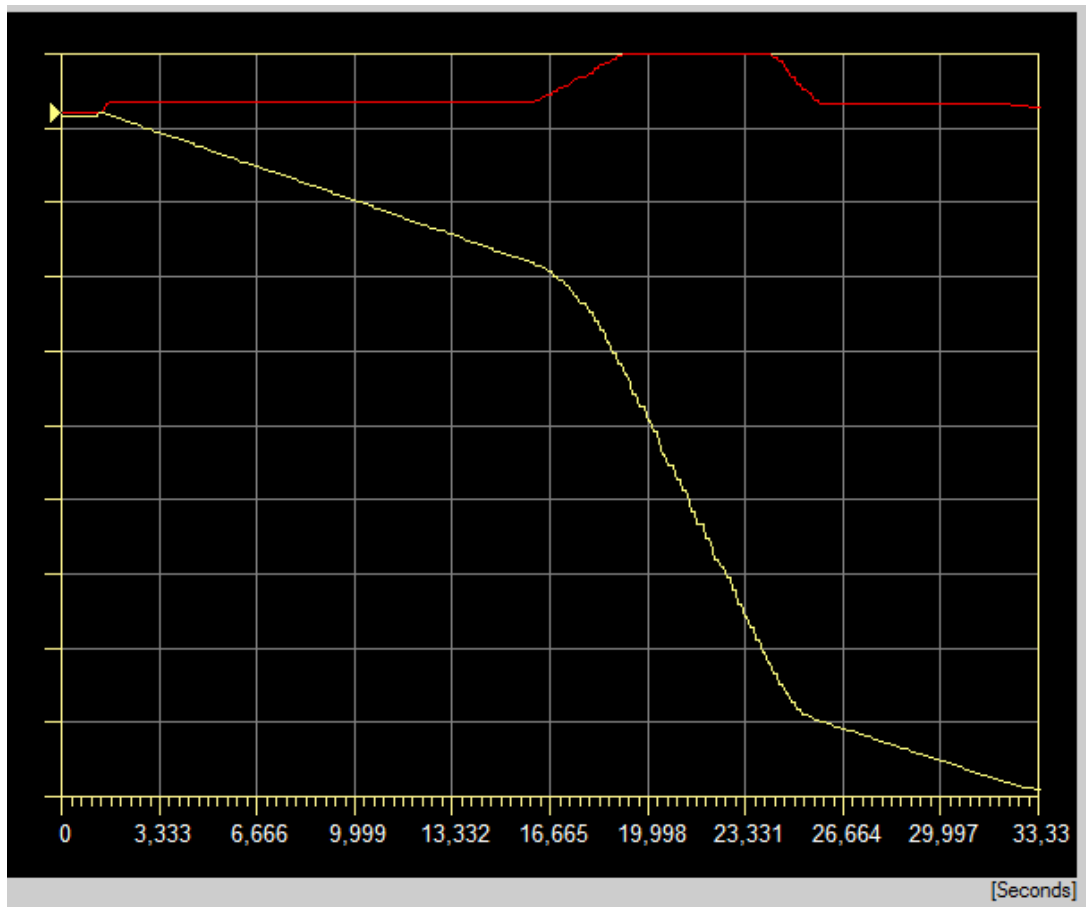


Como podemos observar en las gráficas, en primer lugar introduciremos en el parámetro llamado “Frecuencia a alcanzar” el valor 800 y en el parámetro “Frecuencia de aceleración/deceleración” el valor 15, seguidamente activaremos el pulsador I0.08 para poner en marcha el modo continuo con rampa en sentido antihorario. Una vez activado dicho interruptor, el usuario desactivará el mismo y modificará los parámetros “Frecuencia a alcanzar” y “Frecuencia de aceleración/deceleración”, introduciendo los demás valores que se muestran en las gráficas anteriores siguiendo la secuencia, la cual se encuentra enumerada en función del orden a introducir los parámetros. Cada vez que se introduzcan valores nuevos habrá que activar el interruptor I0.08 para que surja efecto en el sistema.

2. Una vez introducido los valores correspondientes en dichos parámetros tendremos que detener la salida de pulsos, puesto que al trabajar en modo continuo o de velocidad, ésta no parará automáticamente. Para ello habrá que habilitar el interruptor externo I0.06.

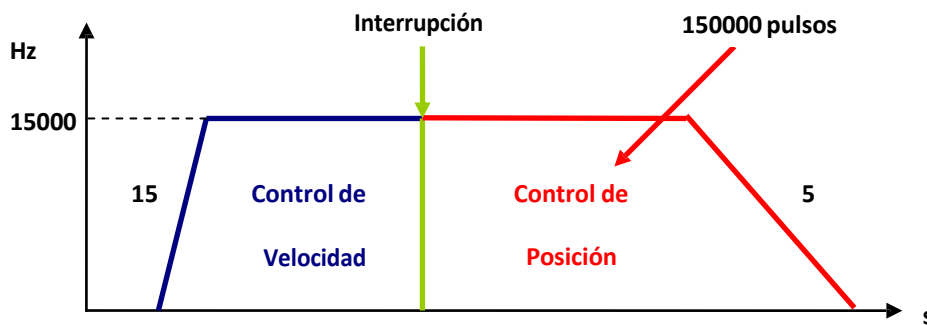
Los resultados obtenidos experimentalmente se mostrarán a continuación:





Actividad 5

Control de velocidad a 15 KHz y cambio a control de posición desplazándose 150000 pulsos. La rampa de aceleración del control de velocidad será de 15 Hz y la rampa de deceleración del control de posición será de 5 Hz.



1. En primer lugar nos vamos a la ventana del SCADA referida al Control Mixto, e introducimos los parámetros correspondientes en función de los datos proporcionados por el enunciado de dicha actividad, y comprobamos si el número de pulsos que nos piden es mayor que el valor mínimo de pulsos (en amarillo) que nos calculará el programa, para que no se produzca error entre el cambio de modo de control al activar la interrupción.

MODO MIXTO

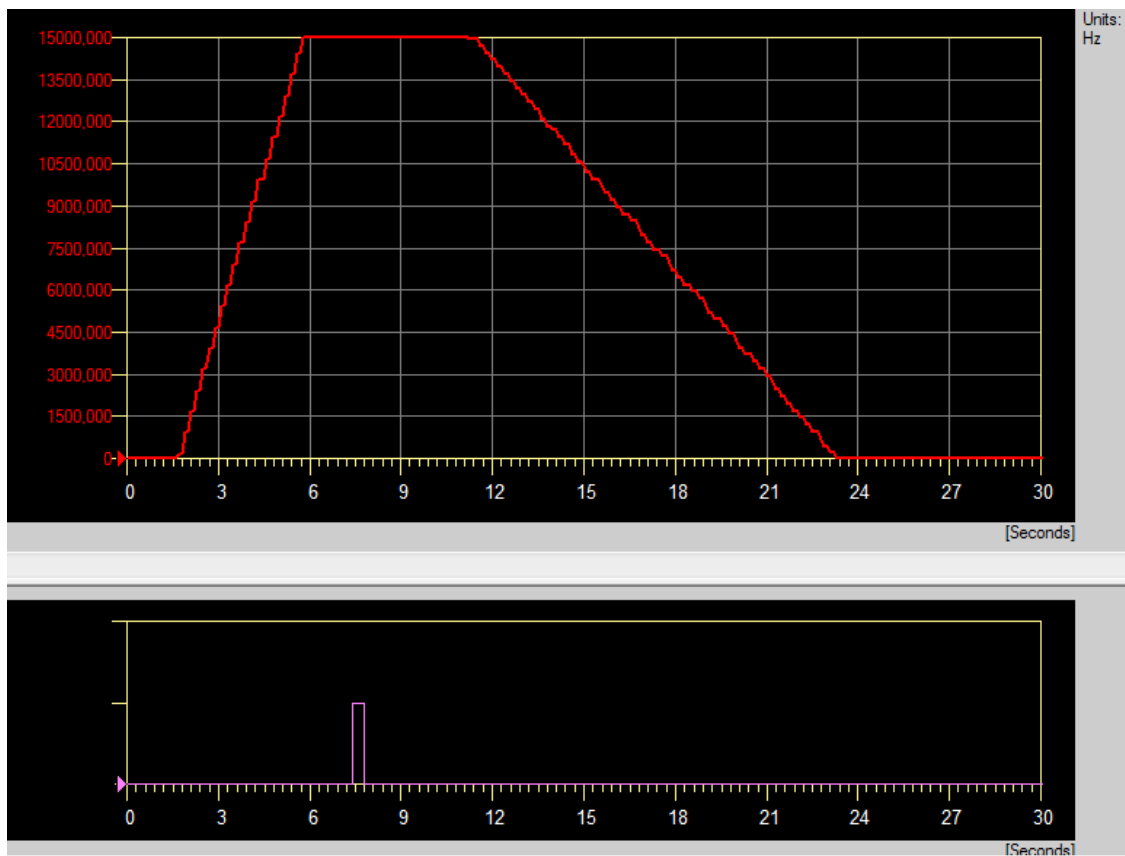
* Parámetros de configuración

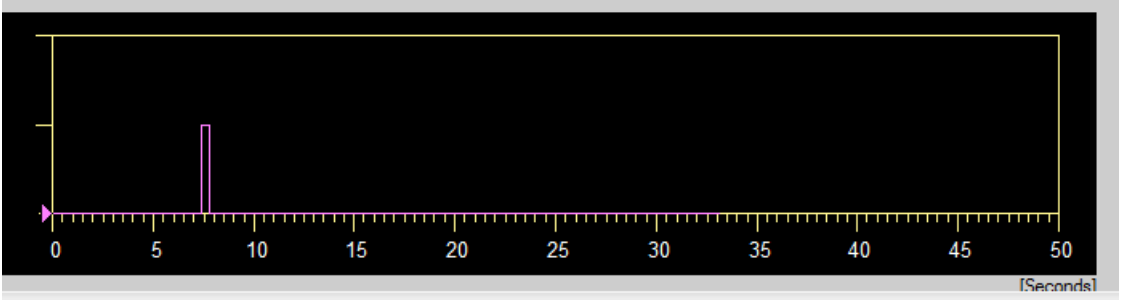
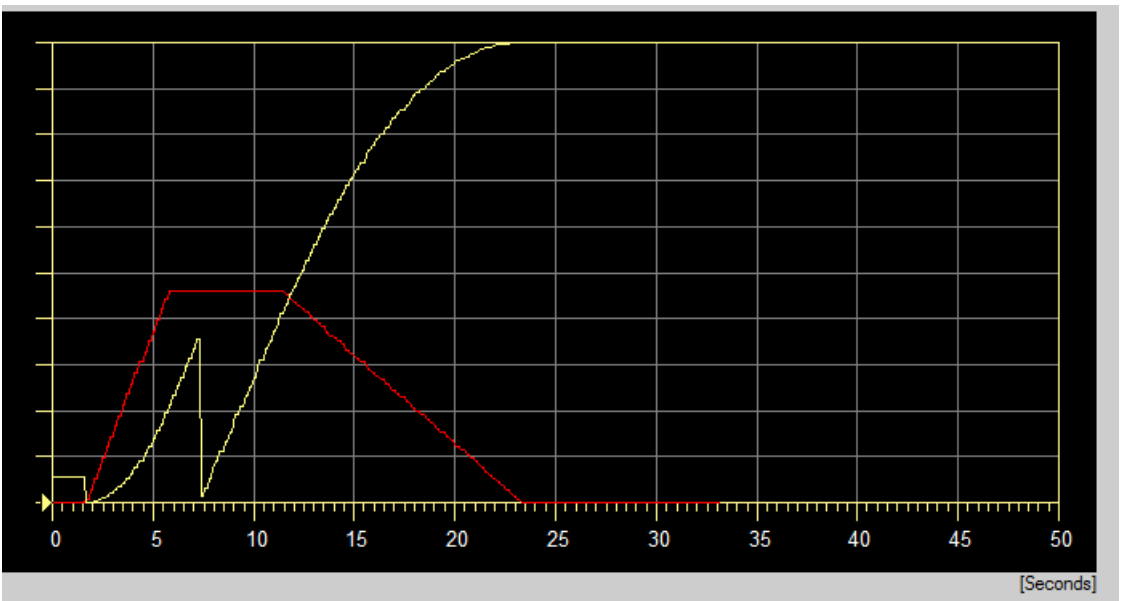
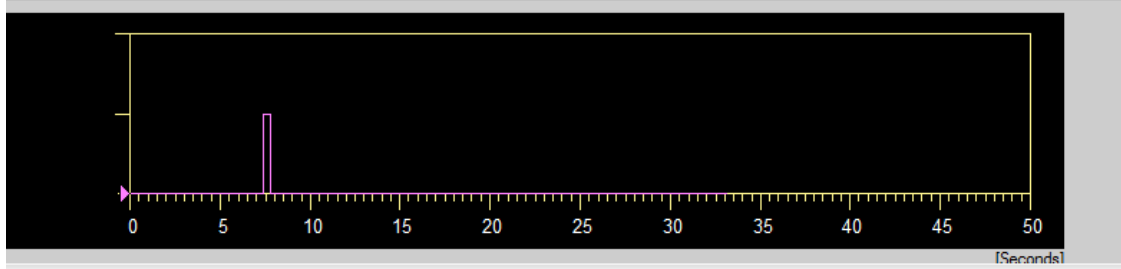
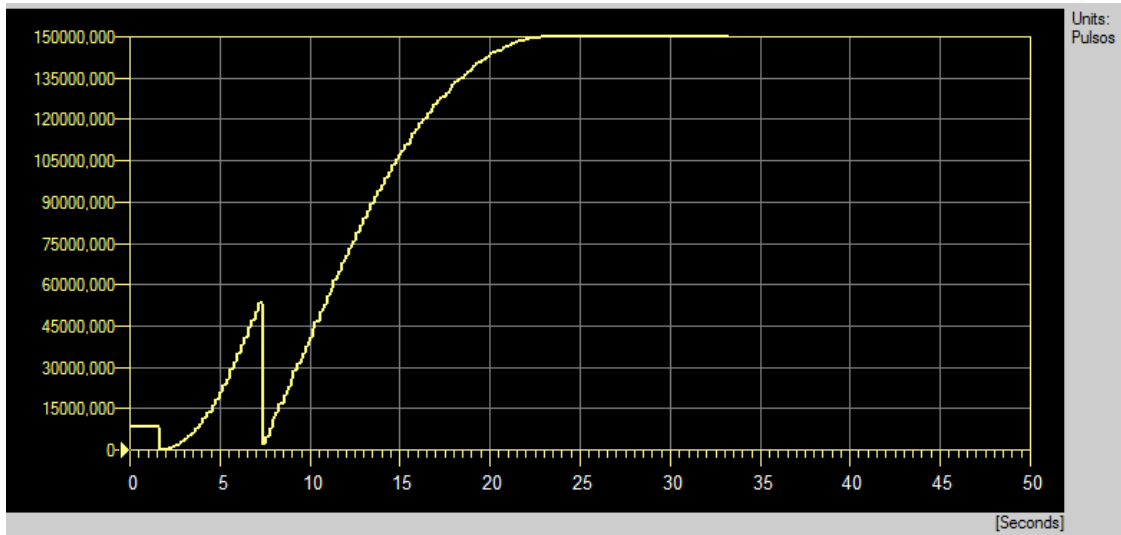
1. Número de pulsos	4. Frecuencia de deceleración
150000	5
2. Frecuencia a alcanzar	Número de pulsos mínimo
15000	90060
3. Frecuencia de aceleración	
15	

Como podemos observar en la gráfica anterior, el número de pulsos mínimo es menor que el número de pulsos que nos piden en el enunciado de la actividad, por tanto dicho sistema funcionará correctamente ante la entrada de interrupción.

2. Activamos el interruptor externo I0.15 que habilitará dicho modo de control, empezando por el modo de control de velocidad y pasando al modo de control de posición cuando el usuario active la interrupción correspondiente, que se activará con el interruptor externo I03 (CIO 2960.03), la cual se trata de una entrada de interrupción del módulo de pulsos.

Los resultados obtenidos experimentalmente se mostrarán a continuación:





Actividad 6

Búsqueda de origen haciendo uso de la señal de proximidad de origen y de la señal de origen alcanzado. Programar en configuración de E/S de CX-Programmer que la salida de pulsos 0 realice la búsqueda de origen en modo 2 (con las señales de fase Z y la de posición completada INP). Se debe configurar la búsqueda del origen para que el servomotor comience la búsqueda en sentido horario (CW), con una velocidad máxima de 1750 Hz, una velocidad de proximidad de 800 Hz, una rampa de aceleración y deceleración de 8 Hz, y el modo inverso de búsqueda de origen de entrada límite.

Configuración detallada de salidas de pulsos y búsquedas de origen

Elemento		Salida de pulsos 0
Selección básica	Operación límite señal de entrada	*Sólo búsqueda
	Tipo señal de entrada límite	NA (normalmente abierta)
	Borrar origen en señal de entrada	*Retener origen
	Velocidad inicial de búsqueda/ret	100
	Curva de velocidad	*Lineal
Búsqueda de origen	Configuración de búsqueda de origen	Habilitar
	Dirección de búsqueda	*CW
	Origen detectado después de entrada límite	0: Activa v. a continuación
	Búsqueda de origen en entrada límite	*0: Inversa
	Modo de operación	Modo 2: Servomotor
	-Salida de reset de contador de posición	Salida
	-Entrada de posición	Usar
	Tipo de señal de entrada de origen	NA (normalmente abierta)
	Tipo de señal de entrada de proximidad	NA (normalmente abierta)
	Alta velocidad (pps)	1750
	Velocidad de proximidad (pps)	800
	Valor de corrección	0
	Velocidad de aceleración	8
	Velocidad de deceleración	8
	Tiempo de monitorización de posición	0
Retorno a origen	Velocidad destino (pps)	3000
	Velocidad de aceleración	10
	Velocidad de deceleración	10

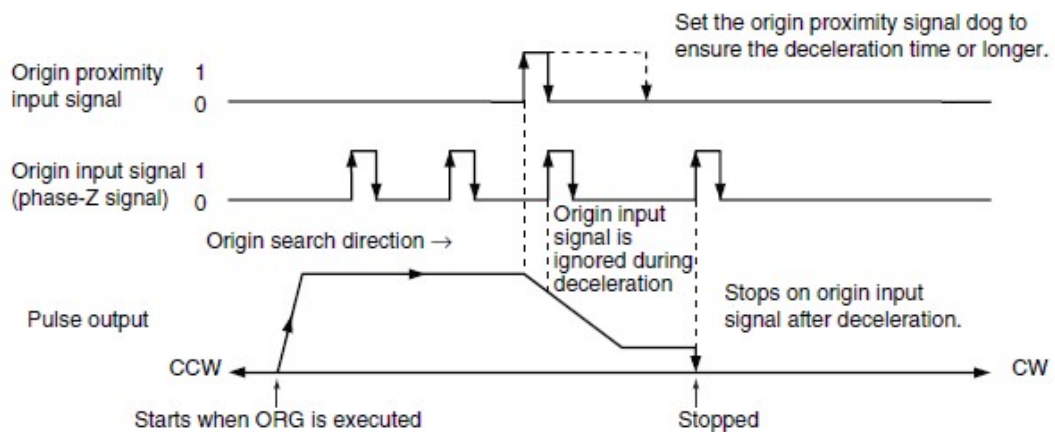
La configuración predeterminada se indica mediante asteriscos.

Ciclo de control de pulsos internos
 *4 ms 1 ms

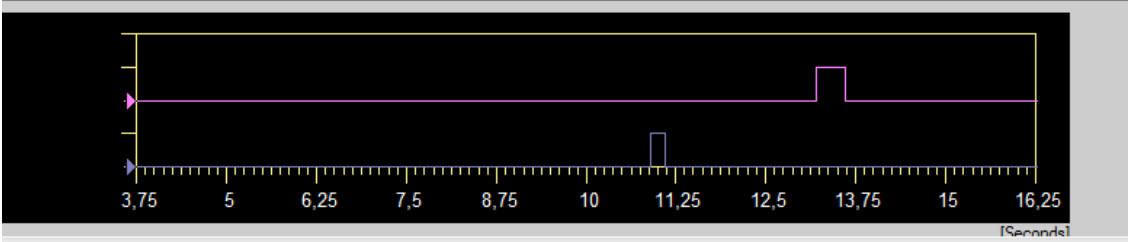
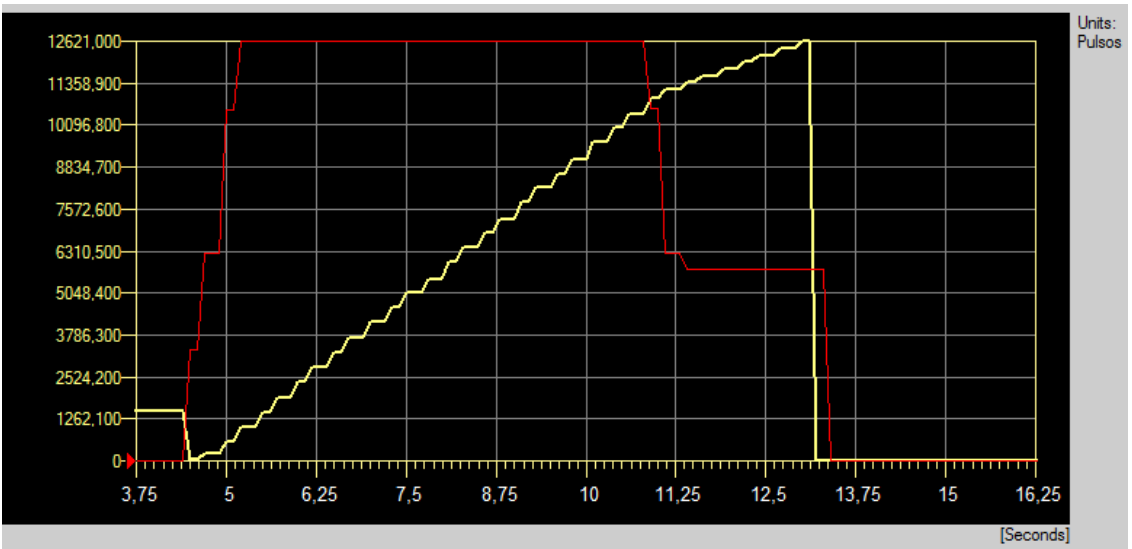
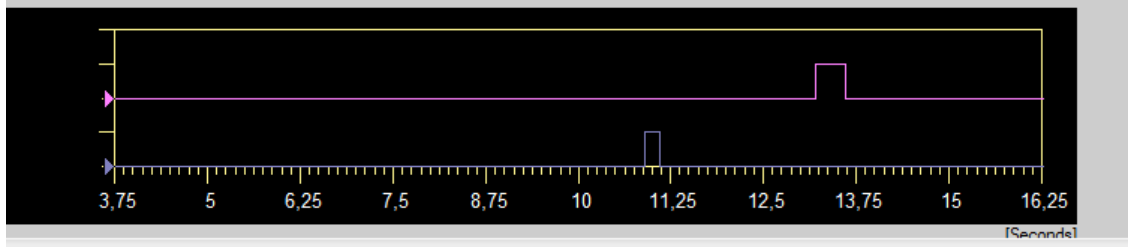
Copiar configuración de salida

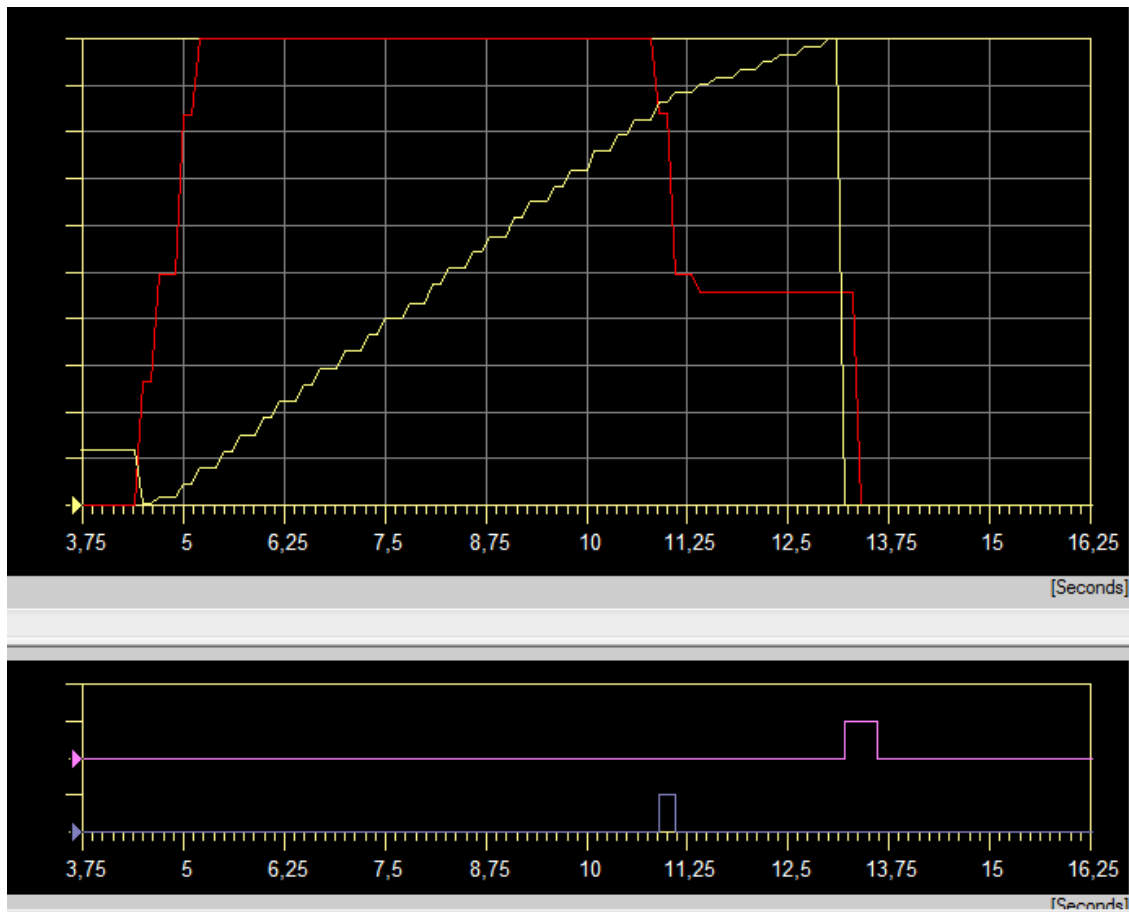
1. En primer lugar nos vamos a la ventana del SCADA referida a la Búsqueda de origen y, posteriormente, activamos la entrada IO.14 que nos activará la búsqueda de origen. A partir de ese momento, el servomotor empezará a buscar el origen en sentido horario (CW) a la velocidad máxima configurada en la ventana anterior (1750 Hz) hasta que detecte la señal de proximidad de origen IO1 (MD211), que será cuando el sistema disminuirá su velocidad a la velocidad de proximidad configurada anteriormente (800 Hz). Si no existe ninguna anomalía, el servomotor se moverá a esa velocidad de proximidad en sentido horario hasta que se active la señal de origen alcanzado, que será el instante en el que quedará establecido un origen de referencia para el sistema.

A continuación se muestra como debería responder el servomotor ante dicha instrucción, en caso de que la búsqueda se realice correctamente.



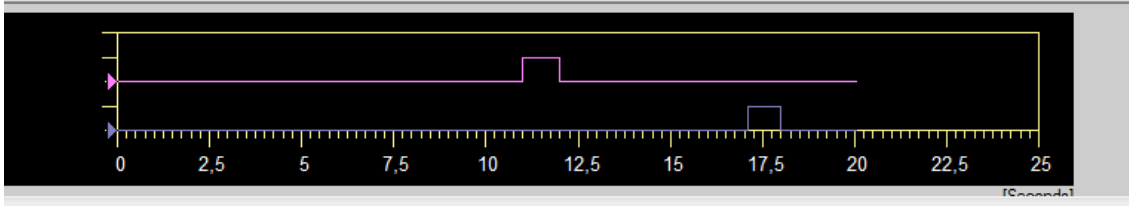
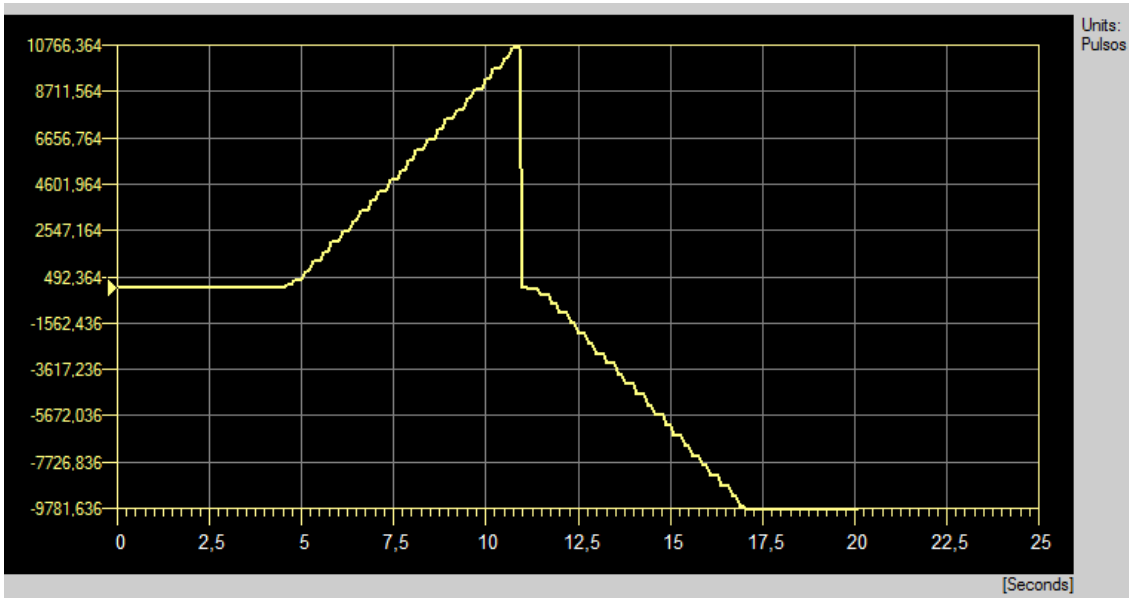
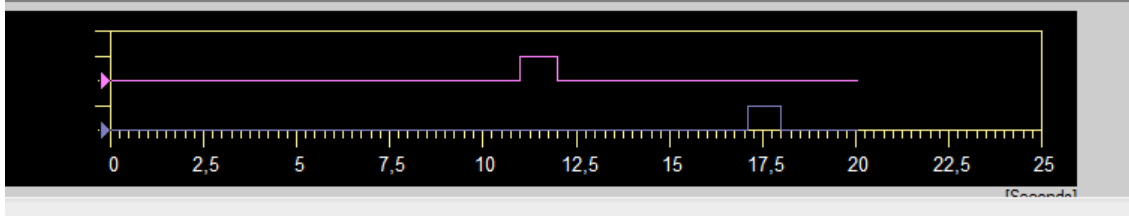
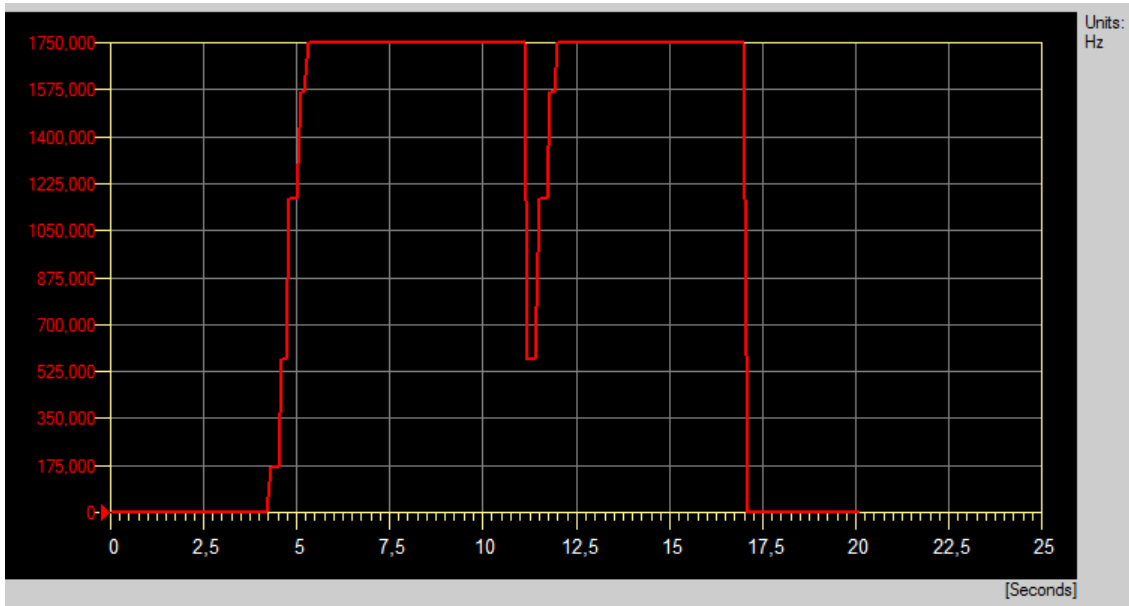
Los resultados obtenidos experimentalmente se mostrarán a continuación:

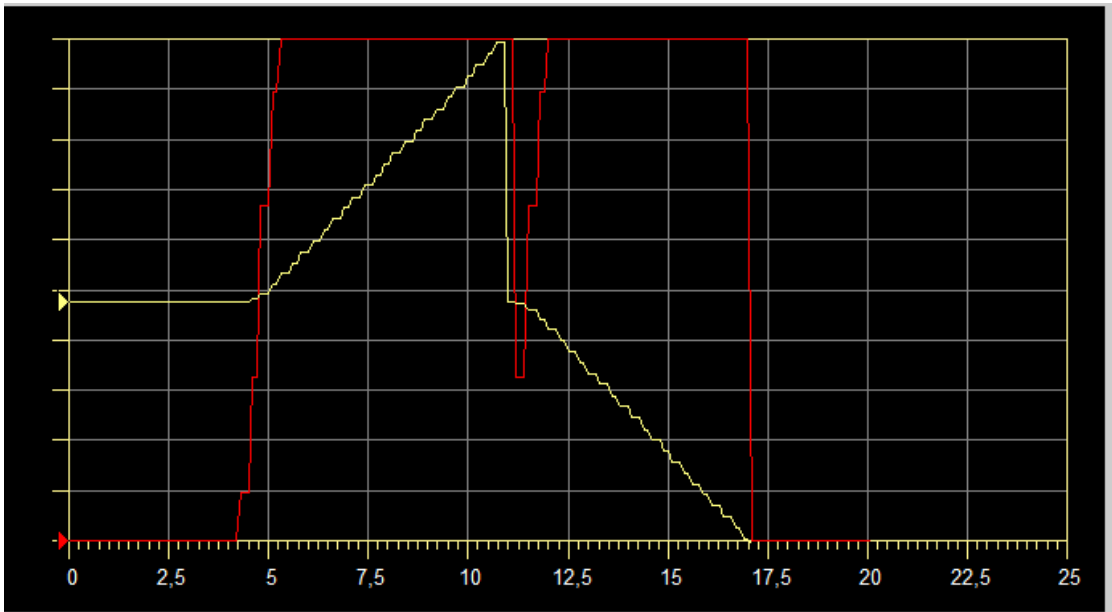




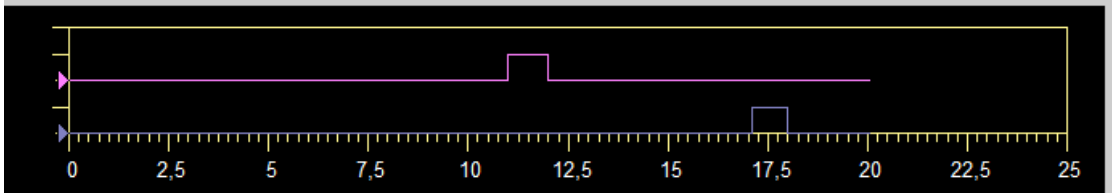
En caso de que al buscar el origen no se detecte la señal del sensor de proximidad, el servomotor al alcanzar el sensor límite de sentido horario (CW) invertirá automáticamente el sentido de giro y se moverá hacia el sensor límite de sentido antihorario (CCW). En el momento que este último sensor detecte que el servomotor ha llegado, el sistema se detendrá automáticamente, avisando de que no se ha detectado el sensor de proximidad a través de un error por código.

Los resultados obtenidos experimentalmente se mostrarán a continuación:





[Seconds]



[Seconds]

ANEXO V

VISUALIZACIÓN Y

ADQUISICIÓN DE DATOS.

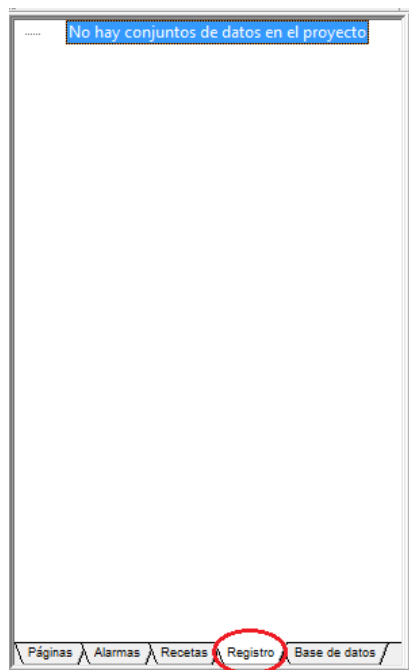
1. Registro de datos o Data Log Viewer

Una de las funciones más importantes de un SCADA es la de Adquisición de datos, con la que se puede visualizar la evolución temporal de variables y la adquisición de dicha información mediante gráficas, tablas de datos en excel, etc. Todo esto puede conseguirse mediante el registro de datos.

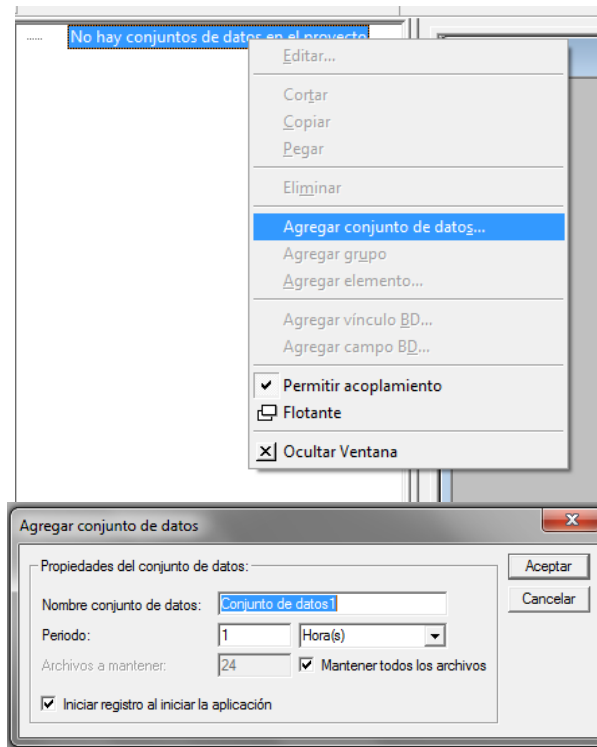
A continuación se darán nociones básicas sobre la configuración y el uso del registro de datos para poder realizar una correcta adquisición de datos.

Los pasos a seguir son los siguientes:

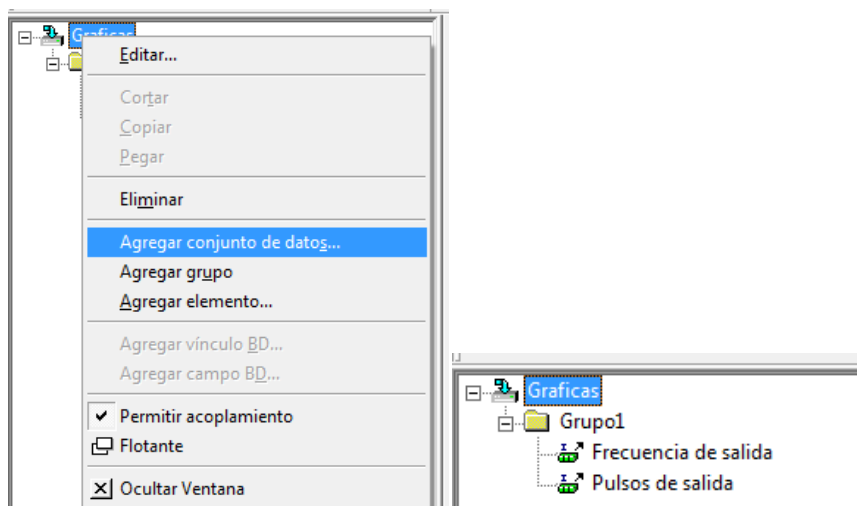
1º. Nos vamos al apartado de registro de datos dentro del SCADA.



2º. Agregamos un conjunto de datos para visualizar.



3º. Agregamos un grupo de elementos o un solo elemento, de los cuales se quiera realizar la adquisición de datos. En nuestro caso, crearemos un grupo llamado “Graficas” con dos elementos: un primer elemento llamado “Frecuencia de salida”, con el que se va a visualizar la frecuencia en la salida de pulsos 0, y un segundo elemento llamado “Pulsos de salida”, para poder visualizar el número de pulsos en la salida de pulsos 0.



4º. Asociar los elementos creados a las variables que el usuario ha definido previamente, las cuales contienen la información necesaria para visualizar. En nuestro caso serán las variables creadas que contienen la información necesaria sobre la frecuencia y el número de pulsos de la salida de pulsos 0 del módulo MD211. También se deberá poner el tipo de variable del que se trata y poner los valores máximo y mínimos entre los que se visualizará dicha variable, en caso de ser de tipo real o entero.

Propiedades del elemento:

Nombre:

Expresión:

Tipo de datos: Booleano Entero Real

Banda muerta: %

Frecuencia de muestreo:

En cambio

Con intervalo

Escala:

Valor mínimo:

Valor máximo:

Etiqueta de escala:

Propiedades del elemento:

Nombre:

Expresión:

Tipo de datos: Booleano Entero Real

Banda muerta: %

Frecuencia de muestreo:

En cambio

Con intervalo

Escala:

Valor mínimo:

Valor máximo:

Etiqueta de escala:

Como podemos observar en las gráficas anteriores, se ha puesto una frecuencia de muestreo con intervalo de 500 ms, que es la frecuencia mínima de muestreo que nos deja utilizar el programa, ya que se pretende obtener gráficos de tendencia para dichas variables.

5º. Una vez que se han creado dichos elementos en el registro de datos, el siguiente paso será crear en el programa uno o varios botones que nos permitan

acceder a la visualización de los elementos del registro de datos mediante el uso de lenguaje script. En nuestro caso los botones que se han creado son:

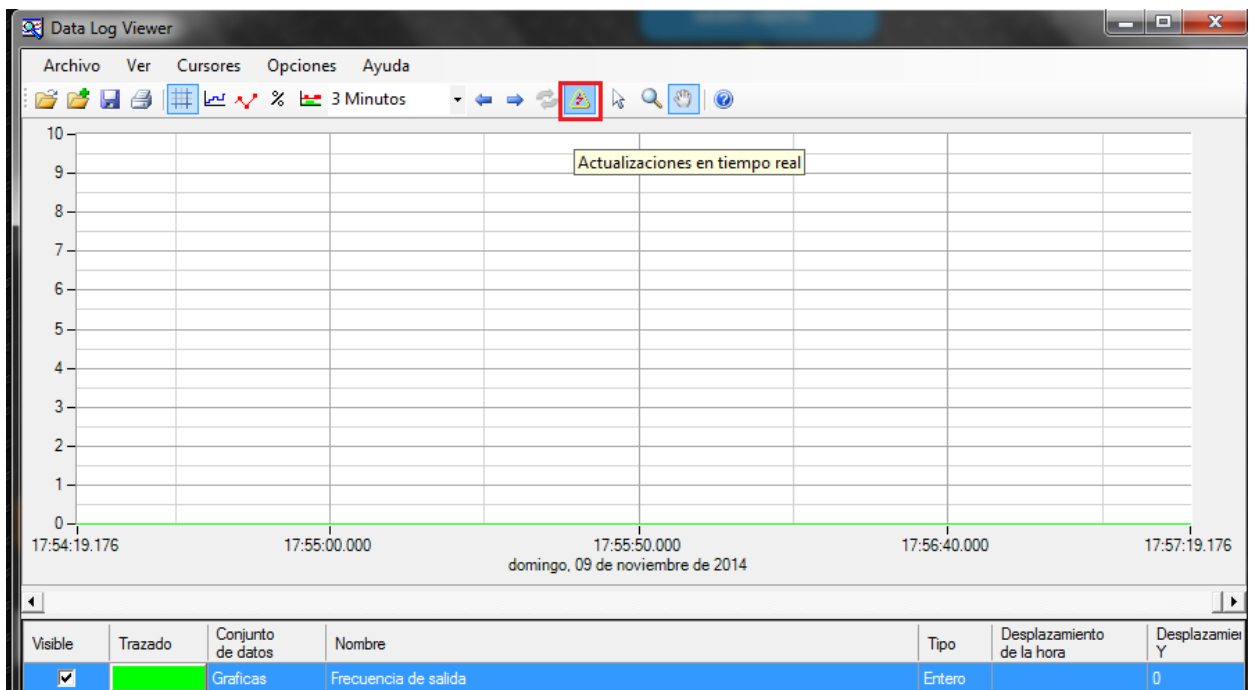


El botón “Gráficos de salida” nos mostrará la evolución temporal de las elementos frecuencia de salida y pulsos de salida, juntos en una misma gráfica.

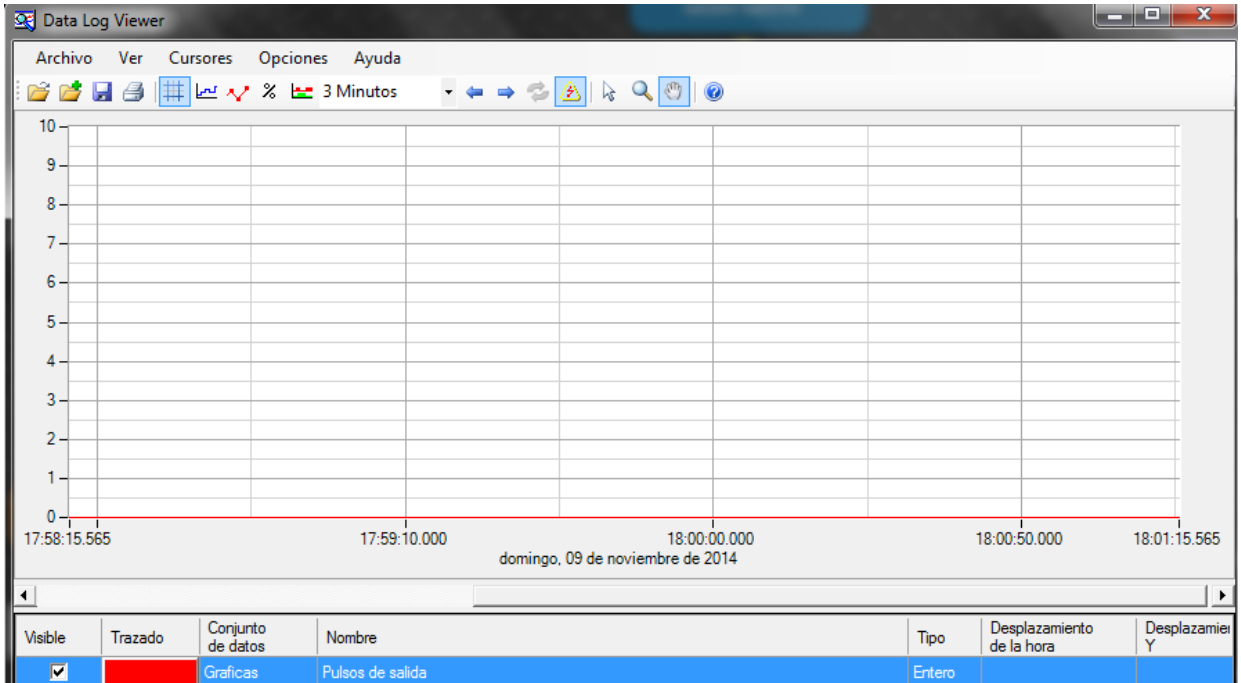
El botón “Frecuencia de salida” nos mostrará la evolución temporal del elemento frecuencia de salida.

El botón “Pulsos de salida” nos mostrará la evolución temporal del elemento pulsos de salida.

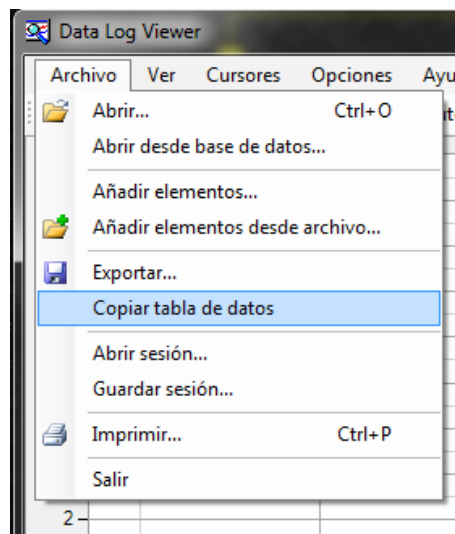
6º. El siguiente paso será ejecutar el SCADA y habilitar dichos botones para ver la evolución temporal de dichas variables mediante gráficas.



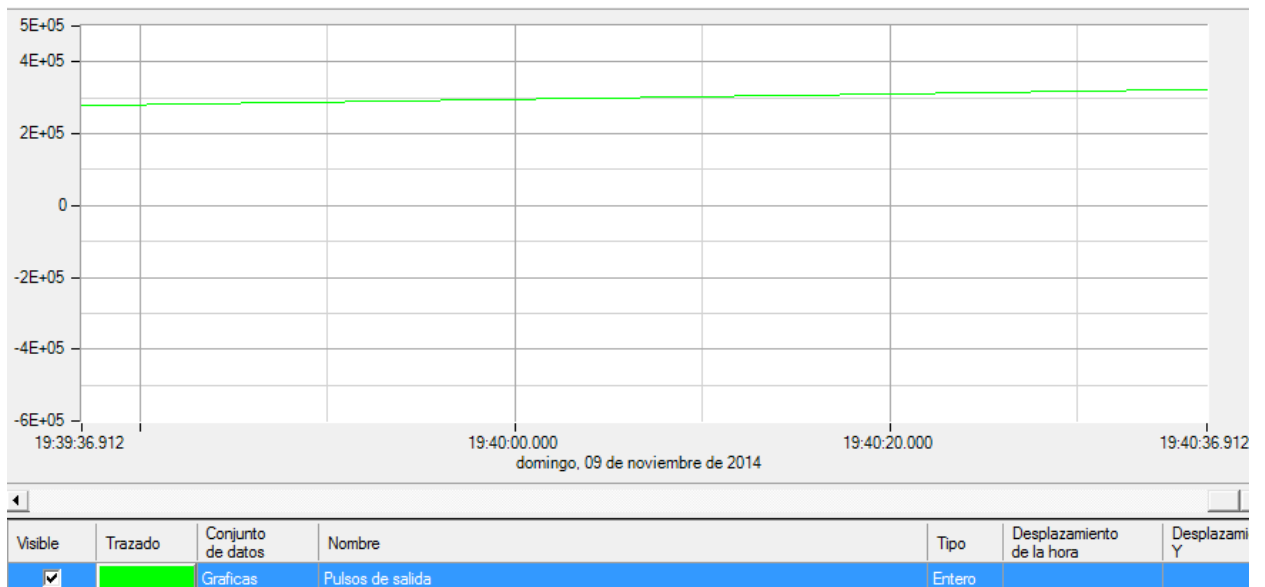
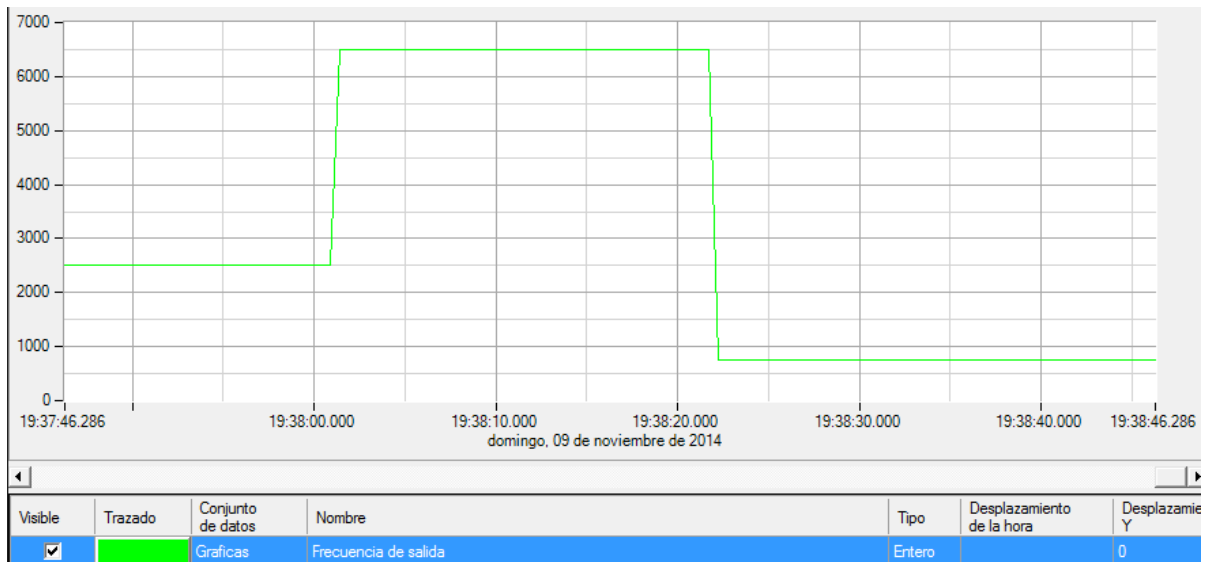
NOTA: Se debe habilitar la opción “Actualizaciones en tiempo real” para poder ir visualizando la evolución de las variables en cada instante de muestreo.



Se podrán obtener los valores de las variables que se están visualizando mediante una tabla de datos mediante la opción “Copia tabla de datos”.



A continuación se muestran algunos resultados experimentales que se han obtenido usando el registro de datos:



2. Seguimiento de datos o Data Trace

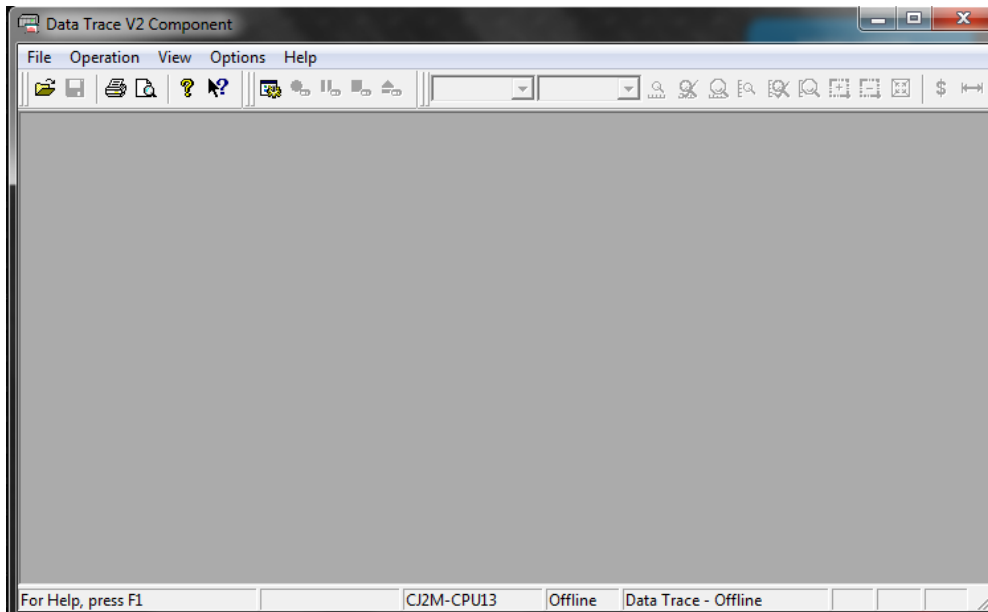
Otra opción que usaremos para la visualización y adquisición de datos es la aplicación “Seguimiento de datos” que nos permite usar CX-Programmer. Esta aplicación nos permitirá realizar una adquisición de datos más exacta que el Registro de datos de CX-Supervisor, puesto que nos permitirá usar una frecuencia de muestreo menor y por tanto los resultados obtenidos se aproximan más a los reales.

A continuación se darán nociones básicas para la configuración y el uso de dicha aplicación:

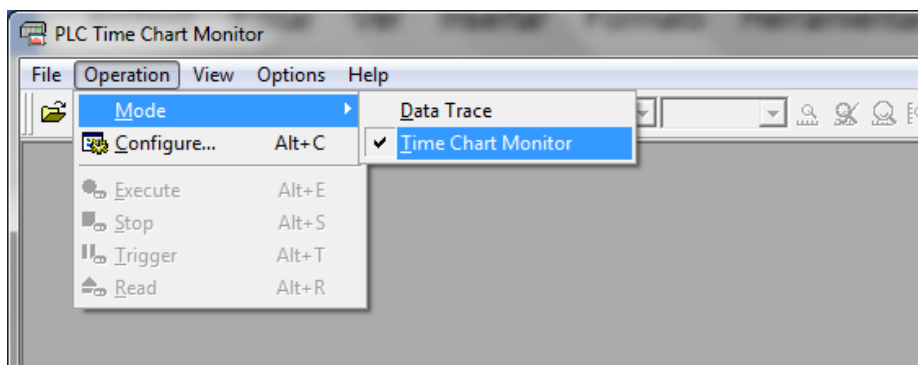
1º. Al tratarse de una aplicación de CX-Programmer, tendremos que enlazar dicha aplicación al SCADA mediante algún botón creado, que tendrá asociado código en lenguaje de programación script. En nuestro caso, se ha asociado dicha aplicación al botón llamado “Toma de datos”.



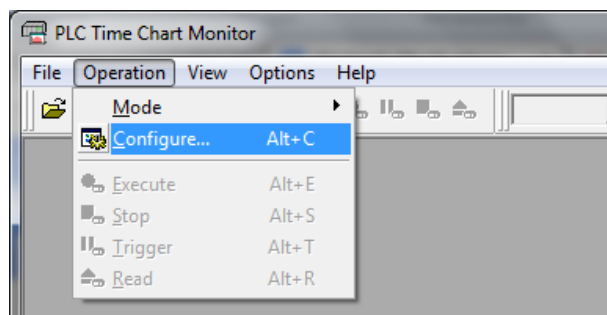
2º. Al ejecutar el SCADA y habilitar dicho botón, podremos acceder al “Seguimiento de datos”.



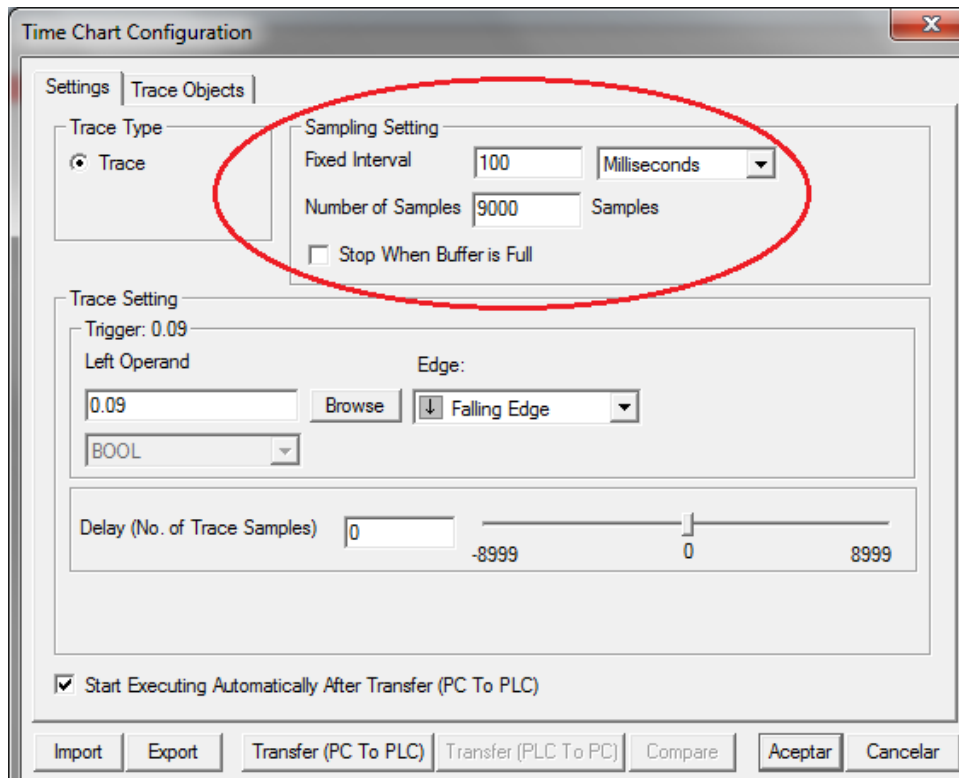
3º. El siguiente paso será activar el modo “Time Chart Monitor”.



4º. Configuramos aquellas variables de las que se pretende realizar una adquisición de datos activando la opción “Configure...”.



Una vez dentro de la ventana “Time Chart Configuration” tendremos que configurar el intervalo de muestreo.

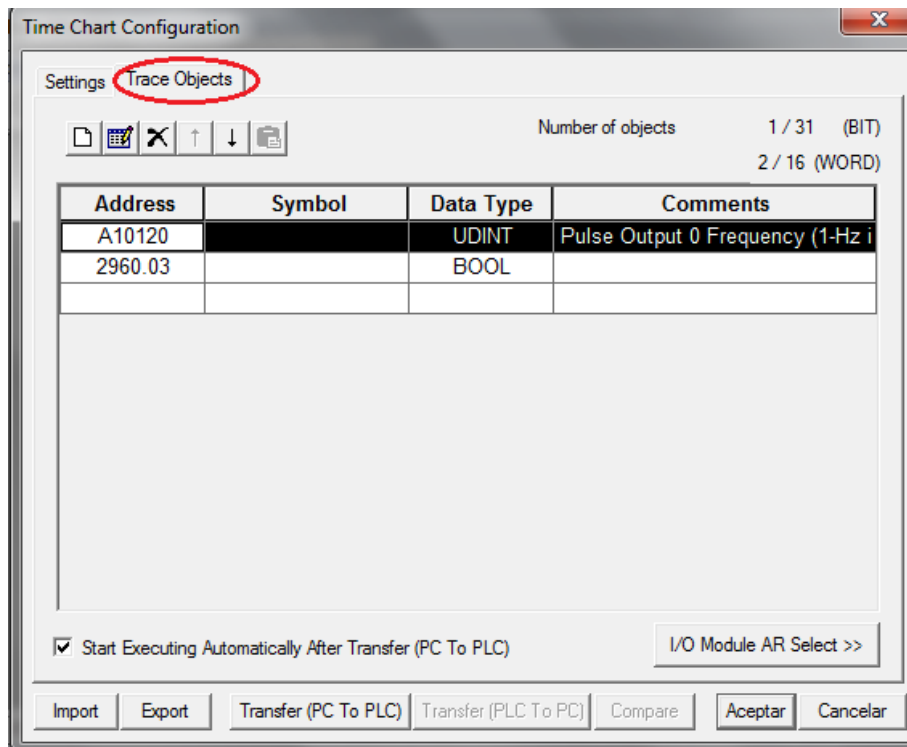


Tal y como se muestra en la gráfica anterior, al poner una frecuencia de muestreo de 100 ms y un número de muestras de 9000, podremos tomar muestras durante:

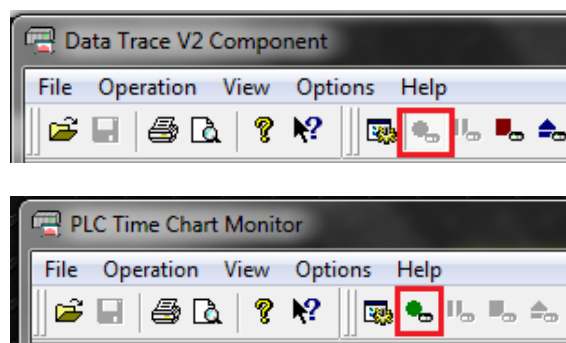
Frecuencia de muestreo * N^o de muestras = Intervalo de muestreo

100 ms/muestra * 9000 muestras = 900000 ms = 900 seg = 15 minutos

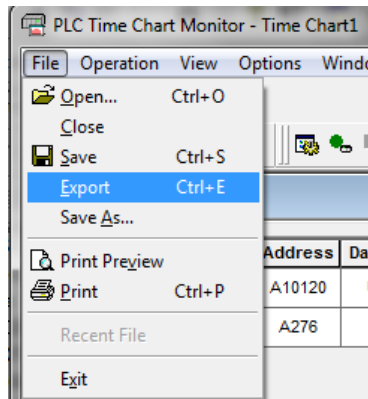
5º. Introducir las variables que se pretenden visualizar en la ventana “Trace Objects”



6º. Empezamos la adquisición de datos activando la opción “Execute Trace/ Time Chart” tanto en la pantalla “Data Trace V2 Component” como en la pantalla “PLC Time Chart Monitor”.



7º. Finalmente obtendremos las gráficas deseadas y podremos guardarlas, e incluso obtener el valor de las variables a visualizar en cada instante exportándolos a una tabla en Microsoft Excel.



Algunos resultados experimentales conseguidos se muestran a continuación en las siguientes gráficas:

