

MÓDULO DE SERVOMOTOR, PLC POR PULSOS

JHONY FERNEY HERNÁNDEZ OROZCO

JORGE ALBERTO DUQUE BETANCUR

JUAN CARLOS VARGAS RAMÍREZ

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2015

MODULO DE SERVOMOTOR, PLC DE PULSOS

JHONY FERNEY HERNÁNDEZ OROZCO

JORGE ALBERTO DUQUE BETANCUR

JUAN CARLOS VARGAS RAMÍREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

ALEXANDER ALBERTO DÍAZ ÁLVAREZ

Ingeniero de Control Universidad Nacional

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma del presidente del jurado

Firma

Nombre:

Jurado

Firma

Nombre:

Jurado

Medellín, marzo de 2015

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO	16
1.1. SERVOMOTOR	16
1.1.1 Funcionamiento	22
1.2. SERVOMECANISMO	24
1.2.1. Partes de un servomotor.....	26
1.2.2. Cómo se selecciona un Servomotor	28
1.2.3 Selección de un servomotor y transmisión por el método de las potencias transitorias.....	30
1.2.4 Ley de movimiento.....	31
1.2.5 Sistema motor transmisión y motor.....	34
1.2.6 Optimización de la relación de transmisión.....	36
1.2.7 Selección del servomotor.....	37
1.2.8 Diagramas k-w	39
1.2.9 Rango de relaciones de transmisión.....	40
1.2.10 Efecto del par de las resistencias pasivas en la carga.....	44
1.2.11. Motor sin escobillas tipo brushless	51
1.2.12. Encoder	55
1.3. DEFINICIÓN DEL CICLO DE CARGA EN UN SERVOMOTOR	58
1.3.1. Perfil de movimiento triangular.....	59
1.3.2. Perfil de movimiento trapezoidal	60
1.3.3. Cálculo del perfil de movimiento	65
1.4. SERVO DRIVER CONTROLADOR DE SERVOMOTOR	68
1.4.1. Tipos de controladores	68
1.4.2. Funcionamiento de los controladores del servo.....	69

1.4.3. Operación de los servo drive	72
1.4.4 Servodrive JUNMA SJDE-01APA-OY.....	75
1.4.5. Configuración de la referencia por pulsos (PULSE).....	76
1.4.6. Configuración de la referencia del filtro (FIL)	78
1.4.7. Referencia del display (REF)	80
1.4.8. Visualización de alarmas (AL1, AL2, AL3).....	80
1.4.9. Configuración del sistema y conexión.....	81
1.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	86
1.5.1. Campo de aplicación de los PLC´s	87
1.5.2. PLC Delta DVP20SX2	88
1.5.3. Registros y Relés de PLC.....	89
1.5.4. Símbolos de lógica de escalera	91
1.5.5. Creación de un programa de escalera de PLC.....	93
1.6 PANTALLA HMI	94
1.6.1 Tipos de pantalla HMI	95
1.6.2 Software HMI	95
1.6.3. Comunicación	96
1.7. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	96
1.7.1. Protocolo de comunicación RS-232.....	96
1.7.2. Protocolo de comunicación RS-485.....	99
2. METODOLOGÍA.....	103
2.1. IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO SERVOMOTOR	103
2.1.1. Desarrollo de las prácticas.....	104
2.1.2. Verificación de variables de entrada y salida del PLC delta DVP20SX2.	104
2.1.3 Programación y control de PLC con pantalla HMI	126
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	179
CONCLUSIONES.....	181
RECOMENDACIONES	182

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Servodrive	22
Figura 2: Servomotor de corriente alterna	23
Figura 3 Encoder.....	23
Figura 4: Kit básico de servocontrol	24
Figura 5: Esquema de accionamiento por servomotor	25
Figura 6: Servomotor.....	25
Figura 7 Esquema del Drive (Cobo, s.f.)	26
Figura 8 Partes de un servomotor (Servomotor, 2013)	27
Figura 9 Ley de movimiento triangular y trapezoidal	32
Figura 10 Sistema motor, transmisión, carga	34
Figura 11 Momentos y velocidades angulares del sistema.	34
Figura 12 Diagrama K-W.....	40
Figura 13 Diagrama K-W del ejemplo	42
Figura 14 Punto de operación del servomotor.....	44
Figura 15 Brazo del ejemplo.....	46
Figura 16 Diagrama K-W del brazo	47
Figura 17 Eficiencia vs Carga (Voss, 2007)	48
Figura 18 Motor de alta y baja frecuencia.	49
Figura 19 Detalle del rotor y estator de un motor brushless.....	53
Figura 20 Servomotor compacto	54
Figura 21 Servomotor con encoder incorporado	54
Figura 22 Encoder absoluto	56
Figura 23 Encoder incremental	56
Figura 24 Resolución	57
Figura 25 Demostración del perfil de movimiento triangular	59
Figura 26 Demostración del perfil de movimiento trapezoidal	60
Figura 27 Determinación de la máxima aceleración.....	62
Figura 28 Cálculo de aceleración de perfil de movimiento complejo.....	63
Figura 29 Perfil de torque durante un movimiento triangular y trapezoidal (Voss, 2007)	64
Figura 30 Cálculo de aceleración en Perfil de movimiento trapezoidal	65

Figura 31 Configuración de potencia del servo drive	73
Figura 32 Principio de operación del servo drive.....	73
Figura 33 Operación del amplificador.....	74
Figura 34 Nombre de las conexiones del dispositivo	75
Figura 35 Diagrama de conexión del servodrive SJDE	76
Figura 36 Configuración de la referencia por pulsos	77
Figura 37 Perilla de filtro.	78
Figura 38 Configuración de la referencia del filtro.	79
Figura 39 Indicador de alarmas.....	81
Figura 40 Conexiones globales del sistema.....	83
Figura 41 Conexión estándar	84
Figura 42 Diagrama de conexiones del cable de entradas y salidas.....	85
Figura 43 Variedad de PLC´s en el mercado	87
Figura 44 PLC Delta DVP20SX2 (Delta Electronics, 2008).....	89
Figura 45 Estructura del diagrama de escalera (Delta Electronics, 2008).....	92
Figura 46 Continuación contacto 12.....	93
Figura 47 Programa de muestra.....	94
Figura 48 Puerta serial full	97
Figura 49 Conector DB9.....	98
Figura 50 Línea no balanceada.....	100
Figura 51 Línea balanceada.....	101
Figura 52 Partes del servosistema (Servomotor, 2013)	103
Figura 53 Acceso a WPLSoft 2.20	105
Figura 54 Pantalla de inicio a WPLSoft 2.20	106
Figura 55 Configuración de comunicación	107
Figura 56 Comunicación	108
Figura 57 Nuevo proyecto	109
Figura 58 Nuevo trabajo	110
Figura 59 Seleccionar modelo del PLC	111
Figura 60 Paso específico a seleccionar modelo de PLC	112
Figura 61 Área de trabajo del nuevo proyecto.....	112
Figura 62 Área de instrucciones.....	113
Figura 63 Instrucción LD	114
Figura 64 Instrucción OUT	114
Figura 65 Bloque creado	115
Figura 66 Contacto Y0	116
Figura 67 Entradas y salidas	117

Figura 68 Instrucción END	118
Figura 69 Compilar	118
Figura 70 Enviar a PLC	119
Figura 71 Correr Programa	120
Figura 72 Cargando	120
Figura 73 Programa en RUN.....	121
Figura 74 Visualización del programa en ejecución	121
Figura 75 Activación de X0.....	122
Figura 76 Y0 habilitado	123
Figura 77 Activación de X2.....	124
Figura 78 Salidas Y1, Y3, Y4 activas	125
Figura 79 Salidas Y1, Y3, Y5 activas	125
Figura 80 Todas las salidas inactivas.....	126
Figura 81 Nuevo proyecto	127
Figura 82 Selección modelo	128
Figura 83 Inicio.....	129
Figura 84 Bandera.....	130
Figura 85 Instrucciones de registro	131
Figura 86 Lámpara o piloto.....	132
Figura 87 Instrucción piloto	132
Figura 88 Instrucción out.....	133
Figura 89 Botón paro/marcha.....	134
Figura 90 Contador	134
Figura 91 Descarga del software al PLC	135
Figura 92 Reescribir el PLC	135
Figura 93 Nuevo programa	137
Figura 94 Nombrar archivo.....	137
Figura 95 Modelo de la pantalla	138
Figura 96 Protocolo de comunicación RS-485	140
Figura 97 Finalizar.....	140
Figura 98 Configuración desde la pantalla	141
Figura 99 Configuración lista de instrucciones	142
Figura 100 Puerto USB	142
Figura 101 Color en el área de trabajo.....	143
Figura 102 Indicador multiestado	144
Figura 103 Dirección para comprobar la compatibilidad	145
Figura 104 Visualizador de fin de pulsos.....	146

Figura 105 Lámparas, pilotos visibles	147
Figura 106 Dimensionamiento de lámpara.....	148
Figura 107 Lámpara ya configurada.....	149
Figura 108 Configuración de la segunda lámpara.....	150
Figura 109 Configuración de colores en el fondo de la pantalla.....	151
Figura 110 Nombre de la instrucción.....	152
Figura 111 Configuración	153
Figura 112 Configuración ya realizada de la lámpara. Visualizadores de fin de pulsos.....	154
Figura 113 Inserción del display numérico	155
Figura 114 Instrucción	156
Figura 115 Fin de configuración display.....	157
Figura 116 Contador de pulsos	158
Figura 117 Nombre de la instrucción.....	159
Figura 118 Instrucción de entrada de frecuencia	160
Figura 119 Entrada numérica.....	161
Figura 120 Configuración entrada numérica	162
Figura 121 Color al comando configurado	163
Figura 122 Número de pulsos	164
Figura 123 Número de pulsos configurados.....	165
Figura 124 Botón de inicio.....	166
Figura 125 Nombre de comando.....	167
Figura 126 Entrada M1010.....	168
Figura 127 Configuración de la entrada M1010	169
Figura 128 Botón pausa conteo	169
Figura 129 Tamaño del botón	170
Figura 130 Entradas M11 y M13	171
Figura 131 Lámparas M11 y M13.....	172
Figura 132 Compilación	173
Figura 133 Corrección de errores.....	174
Figura 134 Errores corregidos.....	175
Figura 135 Ventana de ayuda	176
Figura 136 Descarga de programa.....	177
Figura 137 Programa en línea.....	178

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Comparación tipos de motores.....	26
Tabla 2 Variables de movimiento.....	51

GLOSARIO:

Comando: Un comando es una instrucción u orden que el usuario proporciona a un sistema informático, desde la línea de comandos o desde una llamada de programación. Puede ser interno (contenido en el propio intérprete) o externo (contenido en un archivo ejecutable).

Control: La palabra control proviene del término francés *contrôle* y significa comprobación, inspección, fiscalización o intervención. También puede hacer referencia al dominio, mando y preponderancia, o a la regulación sobre un sistema.

Encoder: Un codificador rotatorio, también llamado codificador del eje o generador de pulsos, suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor. Estos dispositivos se utilizan en robótica, en lentes fotográficas de última generación, en dispositivos de entrada de ordenador (tales como el ratón y el trackball), y en plataformas de radar rotatorias. Hay dos tipos principales: absoluto e incremental (relativo).

Potencia: La potencia eléctrica es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt).

Señal análoga: Una Señal Analógica es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo (representando un dato de información) en función del tiempo. Algunas magnitudes físicas comúnmente portadoras de una señal de este tipo son eléctricas como la intensidad, la tensión

y la potencia, pero también pueden ser hidráulicas como la presión, térmicas como la temperatura, mecánicas.

Señal digital: La señal digital es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético en que cada signo que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango.

Software: Se conoce como software al equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.

Torque: el par motor, momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla paso a paso las prácticas del movimiento de servomotor por tren de pulsos, se muestra detalladamente la configuración inicial que se debe tener en cuenta para llevar a cabo la sincronización de la interfaz hombre máquina (en adelante HMI), configuración de la red para su comunicación con sus periféricos (Servodrive, HMI entre otros), se implementa una práctica para probar las entradas y salidas del controlador lógico programable (en adelante PLC).

El diseño del módulo se desarrolló mediante un software de cálculo especializado (WPLSoft 2.20) que tiene en cuenta velocidad, torque máximo, continuidad de torque, RMS de torque, comparación de inercia, y capacidad de regeneración como factores más importantes. Y como factores secundarios, costo, confiabilidad, disponibilidad en el mercado colombiano, resolución requerido del encoder, compatibilidad del control de movimiento, tamaños limitantes y potencia requerida.

A su vez se da una ambientación teórica de todos los elementos y parámetros requeridos para el desarrollo de este trabajo como son: Servomotor, servodrive, PLC, encoder, curvas de aceleración, descripción de la nomenclatura interna del PLC, Configuración del servo drive entre otros.

INTRODUCCIÓN

La combinación de control digital con funcionamiento mecánico es la clave para el éxito de los servomotores AC. Los motores servo AC han estado en uso durante décadas. Han ganado gran popularidad con los controles por ordenador debido a su facilidad de uso y aplicaciones. Prácticamente todos los coches de radio control, helicópteros o aviones tienen por lo menos un motor servo interior. Por otra parte, la combinación de control digital con funcionamiento mecánico ha causado que los servomotores AC sean utilizados en los aparatos electrodomésticos, automatización de oficinas y el mercado del automóvil. La precisión del control por computadora regula con precisión el pulso de encendido y apagado de los servomotores de corriente alterna. (Lozano, 2008)

Este proyecto surge ante la necesidad de ampliar la infraestructura de los laboratorios de la INSTITUCION UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO; la cual ha venido desempeñando un papel fundamental en la calidad de la educación superior; incentivando cada vez más el interés de nuevos aspirantes a ingresar a realizar su carrera técnica, tecnológica y profesional en la Institución; tomando decisiones con miras a la ampliación de nuevas aulas, laboratorios y oficinas con el fin de suplir necesidades y poder prestar un mejor servicio

La realidad mundial es con miras a futuro que se encuentra ya en el presente, y este está lleno de máquinas robotizadas cada vez más efectivas y más eficientes con gran precisión, pareciera ya que los humanos llegaremos a tener una vida mucho “más fácil” desde el punto de vista de la fuerza física, pero cada vez un reto mucha más interesante y desafiante el de evolucionar con más perfección éstas tecnologías. Allí entran estos elementos capaces de ser tan precisos como se necesitan y son los servomotores.

Se pretende diseñar un módulo de servomotor por pulsos para ser implementado; este servirá para la realización de prácticas dentro de los laboratorios de la institución, para afirmar los conocimientos de los estudiantes en la parte didáctica; direccionado a la parte industrial.

Uno de los factores esenciales del módulo es adquirir conocimientos de diseño y programación de equipos por servomotor, y promover de este en una solución atractiva en cuanto a productividad en la industria.

Uno de los problemas más desafiantes en la enseñanza de la teoría de control, es la falta de equipos y simuladores para la aplicación de dichas teorías y técnicas.

En ocasiones, los típicos vistos en clase, se abordan desde un punto de vista puramente matemático y aunque es fundamental, la teoría con prácticas debe ser perfectamente empalmada para un buen aprovechamiento del curso.

El diseño del módulo para prácticas de posicionamiento de señal por pulsos fue realizado con la finalidad de ser empleado como equipo de prueba para diferentes tipos de controladores, desde redes de atraso, adelanto, adelanto/atraso, PID y sus variantes hasta las técnicas de retroalimentación de estado, diseño de observadores y controladores no lineales.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. SERVOMOTOR

Un servomotor es un motor que puede ser controlado en su velocidad de funcionamiento y en la posición dentro de un rango de operación para ejecutar la actividad requerida. Ese control es realizado mediante un dispositivo llamado encoder, que a través de una señal electrónicamente codificada, indica las acciones de velocidad y movimiento a ejecutar. El servomotor es instalado en un equipo o máquina, para permitir que tenga el control de posición, dirección y velocidad de una carga o herramienta mediante su utilización. (Lozano, 2008)

El tamaño de los servomotores es reducido y éste no influye en su potencia, puesto que, precisamente, una característica importante de estos equipos es la capacidad de torque que tienen con una estructura física reducida, lo que implica un menor peso. En fuerza y potencia, los servomotores igualan a los motores mecánicos e hidráulicos, puesto que tienen variadas posibilidades. (Lozano, 2008)

Debido a estas habilidades los servos tienen aplicaciones como corte de 120 toneladas de fuerza de presión. Dicha presión se puede regular y por ende reducir el consumo de energía. (Lozano, 2008)

Las tecnologías, tendencias del mercado y producto en la industria, empiezan a evidenciar 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. (Tendencias, 1988)

Los servomotores pueden ser utilizados en diversas aplicaciones industriales que requieran de una exigencia elevada en dinámica, precisión de posicionamiento y velocidad, además, de un control confiable y funcionalmente fácil de manejar; factores determinantes para aumentar calidad, competitividad y productividad. (Tendencias, 1988)

Como ventajas de esta tecnología las máquinas que usan en su sistema de funcionamiento central, servomotores, presentan características que influyen positivamente en la productividad de las empresas que las poseen. Una de estas ventajas se da debido 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. (Tendencias, 1988)

Los servomotores brindan una capacidad de sobrecarga de trabajo de entre 300 y 400 %+, 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. Además, requieren menor mantenimiento porque son electrónicos; a falta de fricción entre los elementos el deterioro es bajo. Son entre 40 y 50 por ciento más livianos que los motores hidráulicos. En fuerza y potencia, los servomotores igualan a los motores mecánicos e hidráulicos, puesto que tienen variadas posibilidades. (Tendencias, 1988)

Los servos se utilizan en aplicaciones como corte, impresión, etiquetado, empaclado, manipulación de alimentos, robótica y automatización de fábricas. Las

especificaciones del diseño también incluyen: reversa rápida, auto ajuste y funciones programables para que el servo ejecute tareas específicas.

En el mercado existen máquinas como plegadoras, punzadoras, prensas, entre otras, que mediante el uso de un servomotor eléctrico ejercen su fuerza principal de trabajo, optimizando tareas y labores en pro de una producción rentable. (Tendencias, 1988)

La inversión inicial para adquirir un servomotor o una máquina con este sistema incorporado, puede ir desde los cuatro millones de pesos (4.000.000 \$), dependiendo la exigencia de la aplicación para la cual fueron adquiridos. Pero así mismo, es percibido un rápido retorno de la inversión, por el aumento de la productividad, pocos tiempos de parada, bajos costos de mantenimiento, entre otros (Tendencias, 1988)

El mercado de los servomotores se ha visto en constante crecimiento en Colombia, cada día las empresas tienen como primera opción para sus procedimientos de control el uso de servomotores, la implementación de los ellos para sus procesos en sin duda alguna una buena inversión, aunque el costo inicial puede llegar a ser un poco alto en comparación con los motores convencionales, la eficiencia y eficacia de los servomotores logran recuperar la inversión en poco tiempo, representando su valor en ahorro de energía y precisión en sus funciones. (SA)

Mediante la instalación de un módulo de opción de comando indexador a la MP2600IEC es posible aumentar su funcionalidad de los Sigma-5 amplificadores con servo. Con las opciones de comando de comunicación tales como ETHERCAT, CANopen, y POWERlink, es posible configurar el servopack compatibles con las redes que se adapten a las necesidades de la industria.

Sigma-5 series de 5 opciones de comandos de tipo conectable SERVODRIVER están disponibles para motores rotativos y lineales en el rango de 1 fase 230 V, AC, 50 W, a 1,5 KW y 3 fases AC 400 VAC, 500 W a 15 KW.

Como una opción de seguridad también está disponible para reducir los riesgos operacionales de maquinaria. (CORPORATION, 1995)

Este salto se dio a que se ve la necesidad de reemplazar toda la mecánica tradicional por algo más sutil y controlable. La mecánica es buena pero tiene algunas desventajas como ocupar grandes espacios, mantenimiento constante y flexibilidad prácticamente nula. Estos aspectos llevaron a cambiar la tecnología existente por módulos más modernos y versátiles. (Lozano, 2008)

En líneas generales, el mercado colombiano está en crecimiento y en apertura a la tecnología servo, puesto que tienen nuevos profesionales en ingeniería fortaleciendo su nivel académico (son más expertos en el tema), gracias a que las universidades han implementado sistemas de aprendizaje en el tema de servomotores, hecho que ayuda y brinda mayor confianza al industrial para que invierta en tecnología de este tipo. (Lozano, 2008)

Un mercado representativo, que en el presente cuenta con demos o simuladores de la tecnología servo para los estudiantes, hecho que ha mejorado respecto a la década anterior, cuando eran vistos y estudiados pequeños servomotores de aeromodelismo. (Lozano, 2008)

Al reemplazar un sistema mecánico, hidráulico, neumático o al automatizar una maquina con sistema servo, es evidente un incremento en la producción; es un equipo totalmente controlable, preciso y totalmente flexible, esto se refiere a que los servomotores pueden instalarse a cualquier tipo de máquina, adaptarlos y programarlos a necesidades o aplicaciones específicas en la que van a ser utilizados. (Lozano, 2008)

La serie de servomotores sigma-5 de YASKAWA ofrece tanto motores rotativos estándar como motores rotativos lineales de accionamiento directo y deslizadores lineales. Esta gran variedad de sistemas de accionamiento cubren todas las demandas del mercado en cuanto a compacto, alta dinámica, elevada eficiencia, poco mantenimiento, y excelente fiabilidad.

La característica más impresionante de la serie SIGMA-5 reside en la precisión de posicionamiento de hasta 10 nm con productos estándar, reduciendo los tiempos de posicionamiento. Las bien conocidas funciones de autorregulación (auto-tuning) de YASKAWA, permiten la instalación completa de servo ejes en máquinas de elevado rendimiento dinámico en menos de dos horas, mientras que otros productos del mercado requieren para ello más de ocho horas.

Los servomotores son equipos de importación de otros países como lo es Japón que es uno de los principales proveedores para Colombia. YASKAWA es líder mundial en la fabricación de robots industriales y sistemas de motion control (convertidores de frecuencia, servomotores y controladores). La empresa dispone de robots específicos para aplicaciones de soldadura, corte, sellado, carga y descarga de máquinas-herramienta, montaje, manipulación y pintura.

Actualmente el mercado de servomotores presenta un gran potencial debido a que cada vez las nuevas tecnologías avanzan y su composición sofisticada va aumentando las exigencias de la producción hoy en día. Los robots son mecanismos que han ido reemplazando la mano de obra de la humanidad. Son equipos funcionales e ideales para acrecentar la productividad dentro de una empresa para salir a competir en el mercado.

Los servos son elementos que puede variar sus parámetros de acuerdo a la función específica para la que vaya a ser utilizado, es decir de acuerdo a perfil de

movimiento al que vaya a ser sometido, el servomotor puede cambiar sus rampas de aceleración y por consiguiente sus condiciones mecánicas.

A nivel que van avanzando nuevas tecnologías, se van incrementando las exigencias en calidad y productividad; y los servomotores cumplen este tipo condiciones para diferentes zonas de trabajo. Estos equipos pueden ser sometidos a altos torques en condiciones constantes de trabajo.

En una aplicación dotada de control de ejes, intervienen el servomotor y su elemento de control. El elemento de control puede ser autónomo (servodriver) o una tarjeta especial de un PLC.

El servodriver incorpora todos los elementos necesarios para el control del servomotor (CPU 32 bits, amplificador de salida entradas de información para el control, salidas para el accionamiento del servomotor, conexión a PC, la programación, entre otros.) La programación se realiza mediante el software correspondiente que permite programar todos los parámetros de usuario que se necesitan en total del servomotor.

En la actualidad los distintos fabricantes ofrecen servomotor junto a su controlador, lo que facilita la simplificación de la instalación al suministrar todo el conjunto de cables de conexión y alimentación ya preparados.

La versatilidad que dan este tipo de accionamiento se traduce en multitud de aplicaciones del tipo: desplazamientos, posicionamientos, transporte, giro, regulaciones de caudal, maquinas, herramientas de todo tipo, manipulaciones, maquinaria industrial, entre otros. (CORPORATION, 1995)

1.1.1 Funcionamiento

Se necesita un dispositivo de conducción (driver) para alimentar el Servomotor AC de Imanes permanentes. La señal de control se envía desde el ordenador principal a la bobina del motor mediante el driver que controla la corriente de encendido y apagado de la bobina y genera el campo magnético. Gracias a este campo magnético que se genera, el polo de Imán permanente en el rotor se mantiene en un ángulo eléctrico de 90 grados. Mediante la detección de la relación entre el estator y el rotor a través de los dispositivos de acople (al codificador fotoeléctrico y transformador giratorio) se logra un control parcial o total del bucle cerrado para controlar el desplazamiento angular con precisión. (Kosow, 1993)

Figura 1: Servodrive



Fuente: <http://tuningpp.com/servo-drive/2/> consultado 2015/03/24

Figura 2: Servomotor de corriente alterna



Fuente: <http://motor-fulling.es/9-ac-servo-motor-es/122744>). Consultado 2015/03/24

Figura 3 Encoder



Fuente: <http://machinedesign.com/archive/feedback-servos>. Consultado 2015/03/25

Figura 4: Kit básico de servocontrol

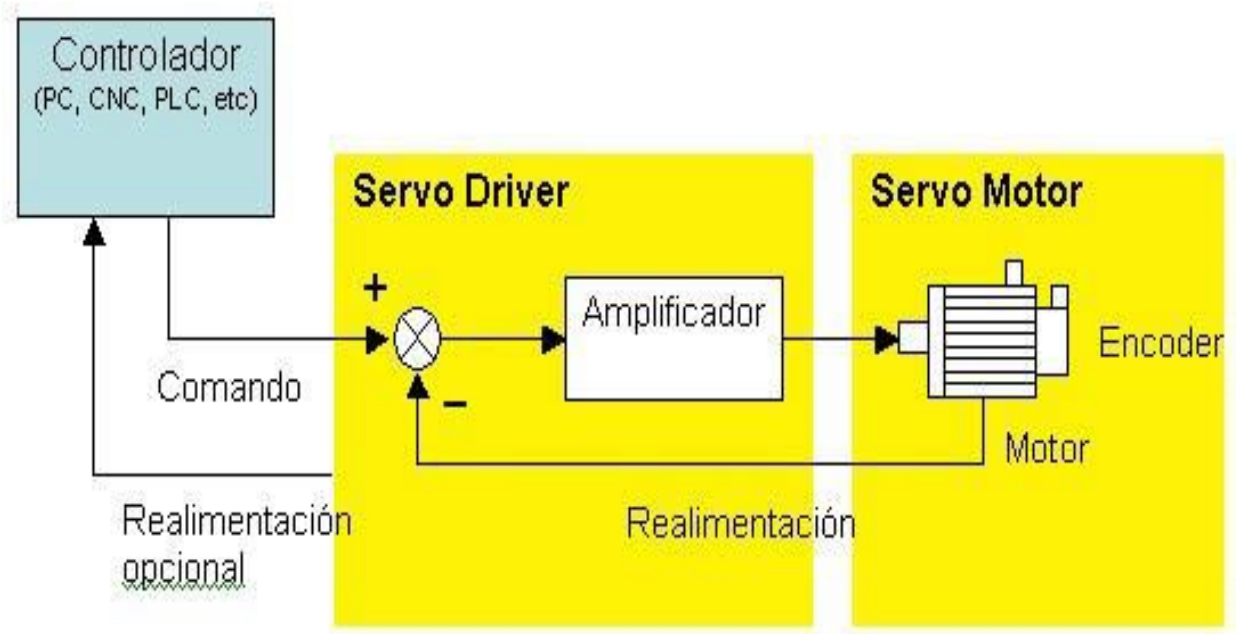


Fuente: <http://www.directindustry.es/>. Consultado 2015/03/25

1.2. SERVOMECANISMO

Básicamente, es un servomotor que contiene en su interior un encoder y un amplificador (driver). Estos componentes forman un circuito realimentado para comandar posición, torque y velocidad (Cobo, 2010)

Figura 5: Esquema de accionamiento por servomotor



Fuente: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>. Consultado 2015/03/25

Figura 6: Servomotor

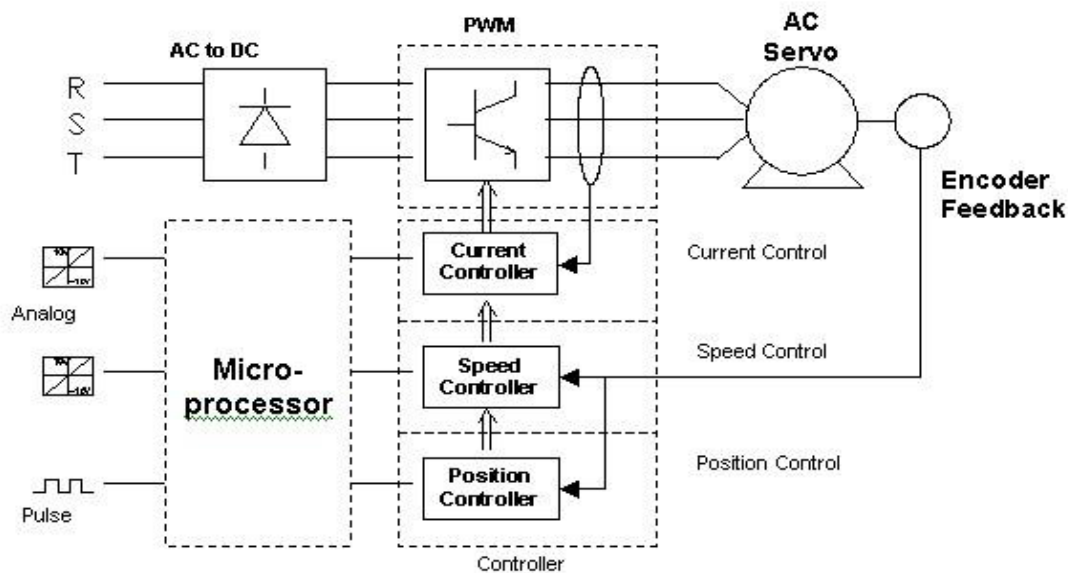


Fuente: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>.

Consultado 2015/03/25

El controlador entrega el comando al servo sobre la posición, velocidad o torque, o bien una combinación de las tres variables que se requiere y el servo ejecuta el comando y opcionalmente le entrega el valor obtenido. Los comandos pueden enviarse al servo mediante señales análogas, de pulso o vía puerta de comunicación como lo muestra el siguiente esquema. (Cobo, 2010)

Figura 7 Esquema del Drive (Cobo, s.f.)



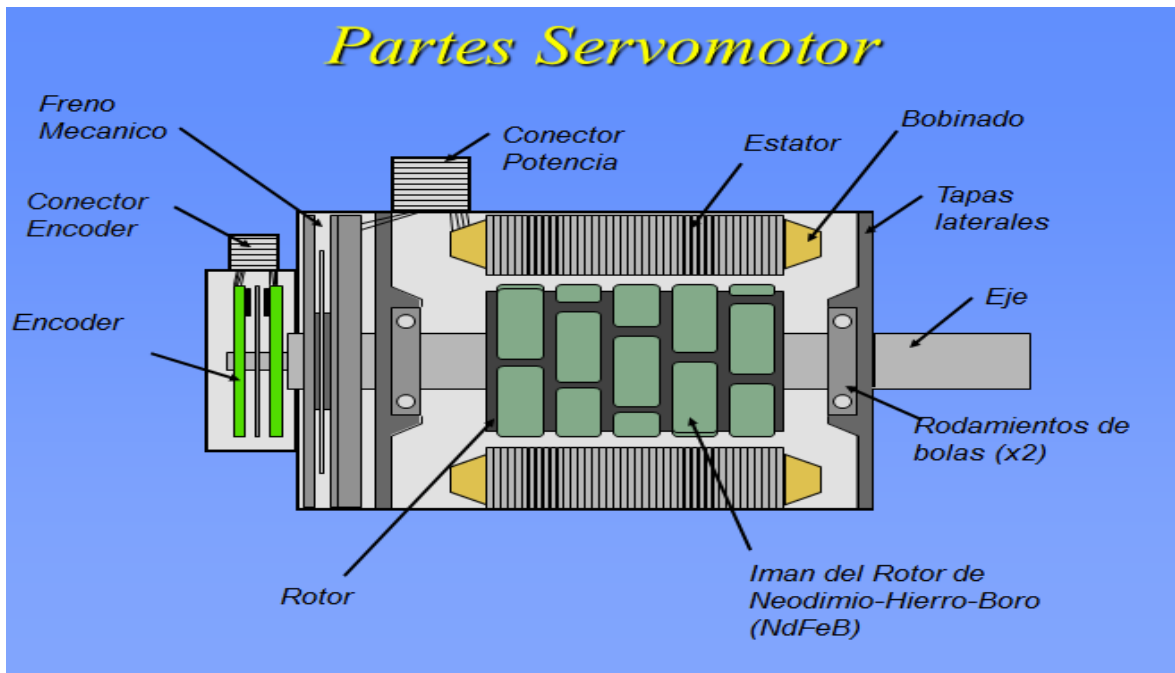
Fuente: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>. Consultado 2015/03/25

1.2.1. Partes de un servomotor

Un servomotor está constituido por:

Estator, bobinado, encoder, eje, imán y un freno mecánico como lo muestra la figura 8. (Servomotor, 2013)

Figura 8 Partes de un servomotor (Servomotor, 2013)



Fuente: www.yaskawa.com. Consultado 2015/02/12

1.2.2. Cómo se selecciona un Servomotor

Para seleccionar un servomotor a una determinada aplicación se requiere conocer el torque de pico necesario para acelerar y frenar la carga impulsada por el motor así como el torque eficaz requerido por la aplicación. Básicamente el conjunto servodrive y motor deben estar en condiciones de satisfacer los requerimientos de torque de pico solicitados por el sistema y el motor debe soportar sin deterioro el régimen térmico impuesto por manejar el torque eficaz requerido por la aplicación. (Servomotor, 2013)

El servomotor representa el factor de costo más influyente en el diseño del sistema de control de movimiento, no sólo durante el proceso de compra, si no te especialmente durante la operación. Un motor de alto par requerirá un fuerte amplificador por lo tanto sería más costoso que los motores pequeños. La combinación de un motor de alto par y un amplificador robusto implicaría no sólo en mayores gastos iniciales, sino que también conducen a mayores costos operacionales, en particular, mayor consumo de energía. Se estima, que el precio de compra representa sólo el 2% del total los costes del ciclo de vida, aproximadamente el 96% es de electricidad. (Voss, 2007)

El tamaño del servomotor adecuado no sólo asegurará mejor rendimiento del sistema, sino que también proporciona un costo considerable ahorros.

El método convencional del tamaño del servomotor se basa en los cálculos de la carga del sistema, que determina el tamaño requerido de un motor. La costumbre estándar de demanda es añadir un factor de seguridad para los requisitos de par de torque, para cubrir las fuerzas de fricción adicionales que pueden ocurrir debido al envejecimiento de los componentes mecánicos. Sin embargo, la determinación de la carga del sistema y la selección del servomotor correcto pueden ser

extremadamente pérdida de tiempo. Cada motor tiene su inercia del rotor individual, que contribuye a la par de la carga del sistema, desde torque es igual Inercia tiempos de aceleración. El cálculo del par sistema debe repetirse para cada motor que está siendo considerado para la aplicación. (Voss, 2007)

Como el resultado, no es una tarea fácil seleccionar el motor óptimo para la aplicación teniendo en cuenta la gran cantidad de servomotores disponibles en el mercado. Muchos motores, que están actualmente en acción, han sido elegidos principalmente debido al hecho de que son más grandes que la disponible a corto plazo requerido y fueron (por ejemplo, de inventario). El Departamento de Energía de Estados Unidos estima que alrededor del 80% de todos los motores en los Estados Unidos son de gran tamaño.

Las principales razones para sobredimensionar un motor son:

- Requisitos de cargas inciertos.
- Previsión por aumento de carga (por ejemplo, debido al envejecimiento de los componentes mecánicos).
- Disponibilidad (por ejemplo, inventario). No sólo es el consumo de energía más alto de lo que debería ser; también hay algunos problemas técnicos de consideración.

El sobredimensionamiento de un motor es naturalmente más común que tamaño insuficiente. Un motor de tamaño insuficiente en consecuencia, no será capaz de mover la carga correcta (o nada) y, en casos extremos, puede sobrecalentarse y quemarse, especialmente cuando no puede disipar el calor residual lo suficientemente rápido. Motores mayores permanezcan frescos, pero si son demasiado grandes lo harán desperdiciar energía durante el funcionamiento ineficiente. Después de todo, el motor proceso de encolado también se puede ver como una energía ejercicio de equilibrio. (Voss, 2007)

Motores AC tienden a calentarse cuando se cargan demasiado. Los servomotores, ya sean insuficiente o de gran tamaño, inevitablemente comienza a vibrar o tener problemas de estancamiento. Una de las principales ideas erróneas durante el proceso de diseño de movimiento es que la selección de un motor más grande que requerida es sólo un pequeño precio a pagar por la capacidad de manejar la carga necesaria, sobre todo porque la carga puede aumentar durante el tiempo de vida de la aplicación debido a un mayor desgaste mecánico. Sin embargo, como se muestra en la figura 8, la eficiencia del motor se deteriora rápidamente cuando el motor funciona por debajo la carga diseñada. (Voss, 2007)

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de dos motores, 10 HP y 100 HP. En ambos casos hay una fuerte caída de la eficiencia de los motores 'en torno al 30% de la carga nominal.

1.2.3 Selección de un servomotor y transmisión por el método de las potencias transitorias

Las aplicaciones modernas requieren de movimientos complejos, que resultan en cargas dinámicas altas para el motor. La selección de un motor apropiado se basa en las características de la carga, aunque también influyen otras características no técnicas como las económicas. Sin embargo, las características del motor afectan a la carga del motor con lo que se complica el análisis. El problema consiste en determinar qué motores pueden o no realizar una tarea específica, y Determinar el rango posible de relaciones de transmisión del reductor entre el motor y la carga. Teóricamente, se requiere de una simulación para decidir la fiabilidad de cada combinación Motor – transmisión – carga. Algunos estudios sugieren un criterio de selección para evitar la simulación pero estos no son frecuentemente aplicados.

Se asume una carga inercial pura y se calcula la relación de transmisión óptima y también se optimiza la duración del movimiento entre dos puntos para un sistema conductor con límite de velocidad.

Obviamente la potencia máxima del motor debe ser mayor que la potencia pico demandada, pero esto no es una condición suficiente. La potencia física consiste de dos componentes, par y velocidad angular, y ambos están limitadas en un motor (actuador) real.

El acople de una transmisión entre el motor y la carga cambia la dinámica del motor. Una relación de transmisión grande, por ejemplo, reduce la influencia de las cargas externas sobre el Comportamiento del motor. Al mismo tiempo, el motor tiene que girar a velocidades altas y genera aceleraciones mayores para el mismo movimiento de salida y por lo tanto, se requieren mayores pares de inercia.

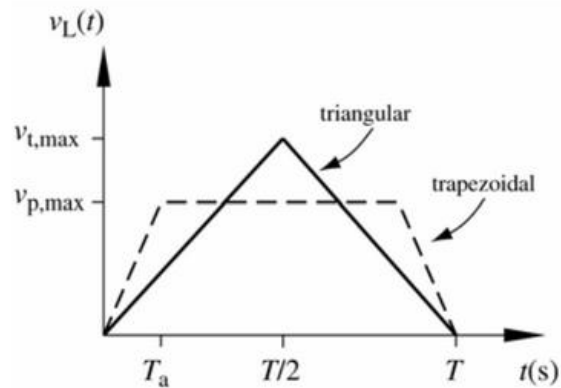
Se sugiere el cálculo de la relación de transmisión apropiada, sin embargo, el método es pesado.

1.2.4 Ley de movimiento

Se propone estudiar el caso en que se requiere desplazar la carga una distancia dL , ó θL si es movimiento angular, en un tiempo T . El primer paso en la selección del sistema conductor y de la transmisión es la elección de la ley de movimiento adecuada. En la figura 9 se presenta la velocidad de la carga en función del tiempo según dos leyes de movimientos: 1) triangular, 2) trapezoidal. Ambas leyes deben cumplir con la condición del desplazamiento total, la cual se obtiene cuando el área bajo la curva de velocidad sea igual a dL :

Figura 9 Ley de movimiento triangular y trapezoidal

$$\int_0^T v_L(t) dt = d_L \quad \text{ó} \quad \int_0^T \omega_L(t) dt = \theta_L$$



Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

En el caso triangular, se tiene que:

$$d_L = \frac{1}{2} v_{t,max} T \quad \text{ó} \quad v_{t,max} = \frac{2d_L}{T}$$

$$a_{t,max} = \frac{v_{t,max}}{T/2} = \frac{4d_L}{T^2}$$

Donde $v_{t,max}$ y $a_{t,max}$ son, respectivamente, la velocidad máxima y aceleración máxima en la ley de movimiento triangular. En el caso de movimiento angular se reemplazan las variables lineales por sus equivalentes angulares.

En el caso trapezoidal, se tiene que:

$$d_L = \left(\frac{1}{2} v_{p,\max} T_a \right) 2 + (T - 2T_a) v_{p,\max}$$

$$= (T - T_a) v_{p,\max}$$

$$v_{p,\max} = \frac{d_L}{T - T_a}$$

$$a_{p,\max} = \frac{v_{p,\max}}{T_a} = \frac{d_L}{(T - T_a) T_a}$$

Siendo $v_{p,\max}$ y $a_{p,\max}$ son, respectivamente, la velocidad máxima y aceleración máxima en la ley de movimiento trapezoidal.

La velocidad y aceleración máxima se pueden formular en función del tiempo T , del desplazamiento d_L y de un coeficiente adimensional que depende de la forma de la ley de desplazamiento:

Dónde:

$$v_{\max} = c_v d_L / T; \quad a_{\max} = c_a d_L / T^2$$

$$c_v = \frac{T}{T - T_a} \quad \text{y} \quad c_a = \frac{T^2}{(T - T_a) T_a}$$

En la ley de desplazamiento triangular $T_a = T/2$,

Con lo que se obtiene

$$c_v = 2$$

y

$C_a = 4$.

1.2.5 Sistema motor transmisión y motor

La figura presenta la configuración del sistema motor-transmisión-carga.

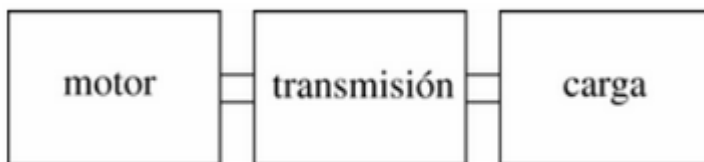
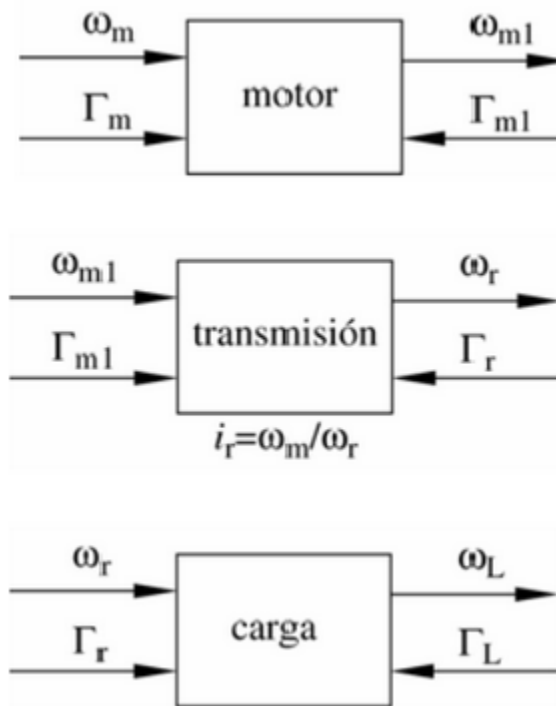


Figura 10 Sistema motor, transmisión, carga

Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

Se pretende determinar la relación de transmisión óptima que minimice el par requerido por el motor para las condiciones establecidas. En la figura 3 se presentan los pares que actúan en cada uno de los componentes del sistema motor-transmisión-carga.

Figura 11 Momentos y velocidades angulares del sistema.



Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

Del análisis de potencias sobre motor, transmisión y carga se obtiene:

$$\Gamma_m \omega_m - \Gamma_{ml} \omega_{ml} = J_m \omega_m \alpha_m$$

$$\Gamma_{ml} \omega_{ml} - \Gamma_r \omega_r = J_{r,m} \omega_m \alpha_m$$

$$\Gamma_r \omega_r - \Gamma_L \omega_L = J_L \omega_L \alpha_L$$

Siendo J_m y J_L las inercias del motor y de la carga, $J_{r,m}$ es la inercia de la transmisión reducida al eje del motor. Después de simplificar términos se obtiene el par requerido en el motor:

$$\Gamma_m = \frac{\Gamma_L}{i_r} + \left(J_L / i_r + (J_m + J_{r,m}) i_r \right) \alpha_L$$

La inercia de la transmisión no se conoce hasta después de seleccionar el motor, adicionalmente esta es relativamente pequeña comparada con la del motor y la de la carga por lo que se puede ignorar, es decir,

1.2.6 Optimización de la relación de transmisión

Cuando el par debido a la dinámica de la carga es comparativamente mayor con respecto al par de las resistencias pasivas de la carga se puede simplificar la expresión del par motor:

$$\Gamma_m = (J_L / i_r + J_m i_r) \alpha_L$$

Para estas condiciones dinámicas, se puede obtener una relación de transmisión óptima que minimice el par motor:

$$\frac{d\Gamma_m}{di_r} = 0 = (-J_L / i_r^2 + J_m) \alpha_L$$

Con lo que se obtiene la relación óptima en vacío, $i_{0,opt}$:

$$i_{0,opt} = \sqrt{\frac{J_L}{J_m}}$$

Si el par debido a las resistencias pasivas es diferente de cero se tiene:

$$\frac{d\Gamma_m}{di_r} = 0 = -\frac{\Gamma_L}{i_r^2} + (-J_L / i_r^2 + J_m) \alpha_L$$

Con lo que se obtiene la relación óptima si el par de las resistencias pasivas es constante, $i_{L,opt}$:

$$i_{L,opt} = \sqrt{\frac{J_L \alpha_L + \Gamma_L}{J_m \alpha_L}}$$

1.2.7 Selección del servomotor

Cuando el par de las resistencias pasivas es pequeño o nulo, el máximo par del motor se obtiene cuando se alcanza la aceleración angular máxima. Al reemplazar en la expresión del par motor en vacío la relación de transmisión óptima, $i_{O,opt}$ se obtiene:

$$\Gamma_{m,max} = (J_L / i_{O,opt} + J_m i_{O,opt}) \alpha_{L,max}$$

Ó

$$\Gamma_{m,max} = (2\sqrt{J_L} \sqrt{J_m}) \alpha_{L,max}$$

De la expresión anterior es posible separar los términos relacionados con las características del motor y de la carga:

$$\frac{\Gamma_{m,max}}{\sqrt{J_m}} = 2\sqrt{J_L} \alpha_{L,max}$$

Elevando al cuadrado la expresión anterior se obtiene:

$$\frac{\Gamma_{m,max}^2}{J_m} = 4J_L \alpha_{L,max}^2$$

Con el propósito de dar una interpretación física a los términos de (19) se estudia ahora la potencia del motor.

$$W_m = \Gamma_m \omega_m = 2\sqrt{J_m J_L} \alpha_L \omega_L i_{O,opt}$$

Después de reemplazar, se obtiene que:

$$W_m = \frac{2c_v}{c_a} J_L \alpha_L^2 T$$

Al derivar respecto a T se obtiene:

$$\dot{W}_m = \frac{2c_v}{c_a} J_L \alpha_L^2$$

El término $\dot{W}_{m,max} = \Gamma_{m,max}^2 / J_m$ es 4 veces la derivada respecto al tiempo de la potencia del motor en vacío para la ley de desplazamiento triangular. Por esta razón se le denomina potencia transitoria del motor. La potencia transitoria de la carga es:

$$\dot{W}_L = 4J_L \alpha_L^2$$

Las máximas energías cinéticas del motor y de la carga se obtienen cuando alcanzan sus velocidades angulares máximas:

$$K_{m,max} = \frac{1}{2} J_m \omega_{m,max}^2 ;$$

$$K_{L,max} = \frac{1}{2} J_L \omega_{L,max}^2$$

Algunas cantidades son conocidas, el momento de inercia de la carga y su ley de movimiento. Las siguientes relaciones deben cumplirse:

$$\dot{W}_{L,\max} \leq \dot{W}_{m,\max}$$

$$K_L \leq K_m$$

El significado físico de la última condición es evidente: debido a que $i_{o,\text{opt}}$ es la relación de transmisión que iguala la raíz cuadrada de la energía cinética alcanzada por la carga y el motor, la energía cinética de la carga, K_L , debe ser menor que la energía cinética que alcanza el motor, K_m .

La principal ventaja de este método es la independencia de la curva de carga de los parámetros específicos del motor. Con este método se puede coleccionar los datos de catálogos de motores, y en particular la energía cinética y la potencia transitoria de cada motor.

Se puede implementar una metodología en el que, con los datos de la carga, en particular su energía cinética y su potencia transitoria, se descarten los actuadores que no satisfagan ambas condiciones, y se elija entre las restantes con criterios como costo, precio, tamaño, etc.

En este punto, al seleccionar el motor se conoce la inercia del motor y por lo tanto la relación de transmisión en vacío óptima que permita la adecuada selección de la transmisión.

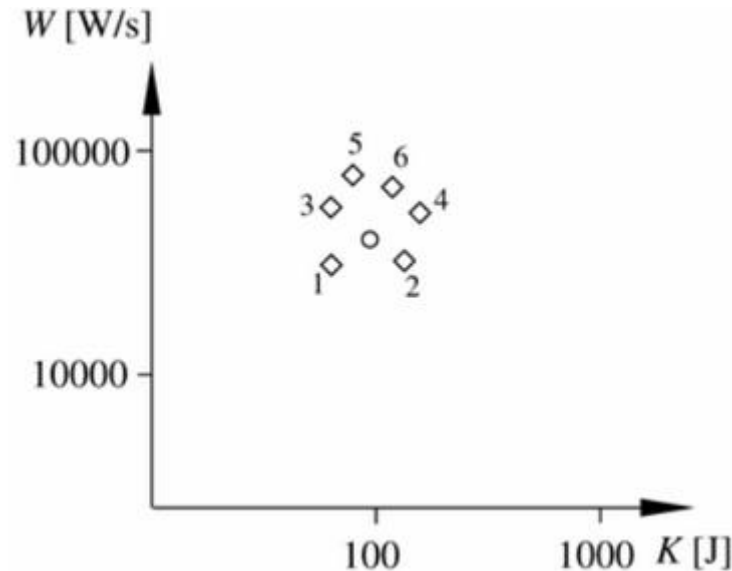
1.2.8 Diagramas k-w

Es posible obtener una representación gráfica que permita seleccionar el motor y definir la relación de la transmisión. En el diagrama se presenta en la abscisa la energía cinética y en la ordenada la potencia transitoria.

En la figura 12 se representan diferentes motores (rombos) y la carga (circunferencia). Los motores que se descartan son los que se ubican por debajo

de la representación de la carga. En este diagrama se representa la potencia transitoria máxima del motor, que se calcula con el par máximo, y su máxima energía cinética, que se calcularon la velocidad angular máxima; ambos son datos tomados del catálogo. La carga se representa mediante su energía cinética máxima y su potencia transitoria máxima de acuerdo a la ley de movimiento establecida.

Figura 12 Diagrama K-W



Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

1.2.9 Rango de relaciones de transmisión

La transmisión puede tener una relación de transmisión diferente a la relación de transmisión óptima en vacío, por lo que se requiere definir el rango de relación de

transmisiones posibles para un motor. Como primer paso se define la relación entre la relación de transmisión y la relación de transmisión óptima:

$$k = \frac{i_r}{i_{O,opt}}$$

La velocidad angular del motor es:

$$\omega_m = \omega_L i_r = \omega_L i_{O,opt} k = \omega_{m,max} k$$

La energía cinética del motor es:

$$K_{m,max} = \left(\frac{1}{2} J_m \omega_{m,max}^2 \right) k^2$$

El par debido a la dinámica del sistema es:

$$\Gamma_{m,max} = \left(J_L / (i_{O,opt} k) + J_m i_{O,opt} k \right) \alpha_{L,max}$$

Al reemplazar en la expresión anterior, la relación de transmisión óptima se obtiene:

$$\Gamma_{m,max} = \left(\sqrt{J_L} \sqrt{J_m} / k + \sqrt{J_L} \sqrt{J_m} k \right) \alpha_{L,max}$$

$$\frac{\Gamma_{m,max}}{\sqrt{J_m}} = (k + 1/k) \sqrt{J_L} \alpha_{L,max}$$

La potencia transitoria del motor y carga son:

$$\frac{\Gamma_{m,\max}^2}{J_m} = \left(k + \frac{1}{k}\right)^2 J_L \alpha_{L,\max}^2$$

De esta forma se obtiene:

$$\dot{W}_{m,\max} = \frac{\Gamma_m^2}{J_m}$$

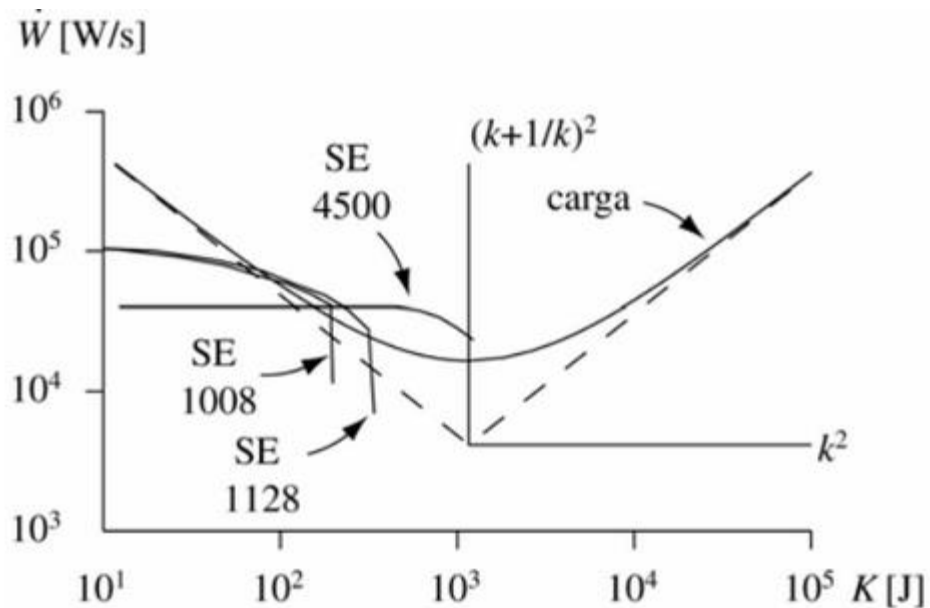
$$\dot{W}_{L,\max} = J_L \alpha_{L,\max}^2 \left(k + 1/k\right)^2$$

La potencia transitoria de la carga tiene dos asíntotas:

$$\left(K_{L,\max} k^2, J_L \alpha_{L,\max}^2 k^2\right)$$

$$\left(K_{L,\max} k^2, J_L \alpha_{L,\max}^2 (1/k)^2\right)$$

Figura 13 Diagrama K-W del ejemplo



Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

Las inercias de los servomotores son, respectivamente, 0,0022, 0,0036 y 0,009 kg m². El servomotor SE 4500 permite un mayor rango para la selección de la transmisión, adicionalmente permite la selección de una transmisión con la relación de transmisión óptima. Después de elegir el servomotor, se determina la relación de transmisión óptima lo que posteriormente permite seleccionar la transmisión del sistema. La relación de transmisión óptima se determina mediante la ecuación siguiente:

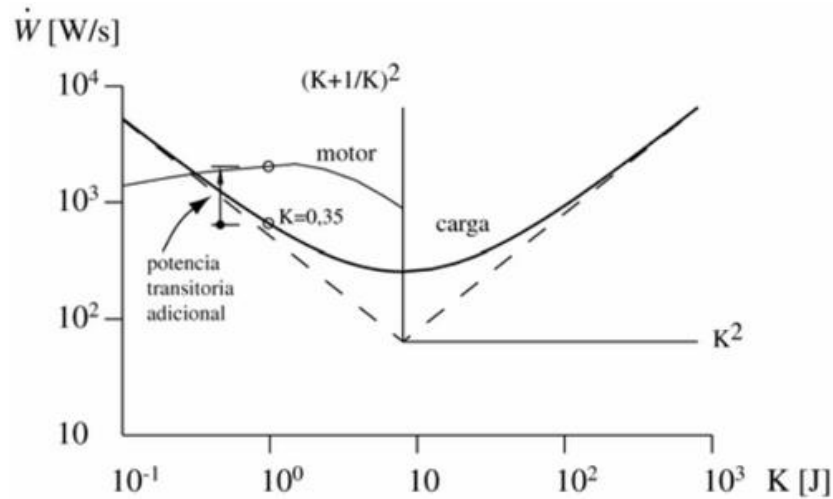
$$i_{O,opt} = \sqrt{\frac{m_L}{J_m}} = \sqrt{\frac{250\text{kg}}{0,009\text{kgm}^2}} = 166,67\text{m}^{-1}$$

Como punto de operación del motor se elige aquel en que se presenta una relación de transmisión igual a 0,775 de la relación de transmisión óptima.

$$i_r = 0,775 i_{O,opt} = 129,17 \text{ m}^{-1}$$

En el punto de operación que se eligió el motor tiene una potencia transitoria adicional al requerido por la carga. Esta potencia permite al motor a vencer las resistencias pasivas que se generan en la transmisión y en la carga, como también al requerido por la dinámica de la transmisión.

Figura 14 Punto de operación del servomotor



Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

1.2.10 Efecto del par de las resistencias pasivas en la carga

En esta sección se determina la influencia del par de las resistencias pasivas en la carga. Si se reemplaza la relación de transmisión óptima bajo carga, y después de simplificar términos, se obtiene el par motor cuando se tiene la relación de transmisión óptima:

$$\frac{\Gamma_m}{\sqrt{J_m}} = \left(\frac{J_L}{\sqrt{J_L + \Gamma_L / \alpha_L}} + \sqrt{J_L + \Gamma_L / \alpha_L} \right) \alpha_L + \frac{\Gamma_L}{\sqrt{J_L + \Gamma_L / \alpha_L}}$$

Si la relación de transmisión i es diferente a la óptima, $i_{L,opt}$, el par motor se calcula mediante:

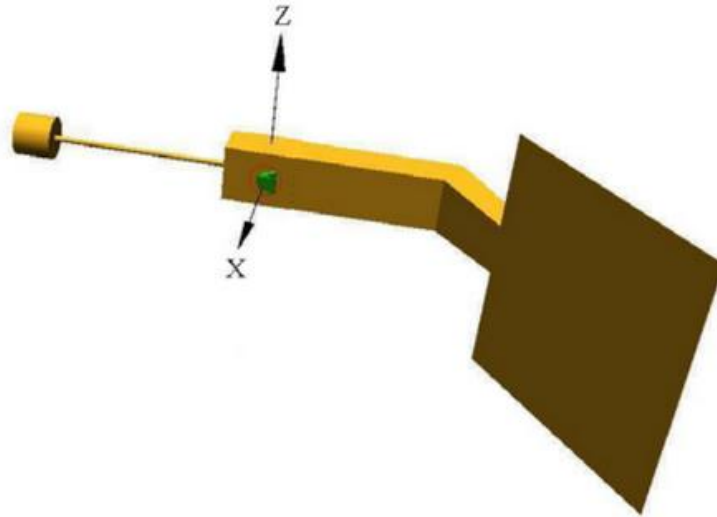
$$\frac{\Gamma_m}{\sqrt{J_m}} = \left(\frac{J_L}{K\sqrt{J_L + \Gamma_L/\alpha_L}} + K\sqrt{J_L + \Gamma_L/\alpha_L} \right) \alpha_L + \frac{\Gamma_L}{K\sqrt{J_L + \Gamma_L/\alpha_L}}$$

Con esta expresión se independizan los parámetros del motor de los parámetros de la carga; de esta forma es posible utilizar el diagrama K-W de manera similar al caso en vacío. En este diagrama, la potencia transitoria del motor no se modifica; sin embargo, la potencia transitoria del motor es el cuadrado del termino del lado derecho con la ventaja que solo depende de los parámetros de la carga. (Hector Fabio Quintero, 2003)

- **Ejemplo**

En la figura 15 se presenta la geometría de un brazo de masa $m=140$ kg, el momento de inercia alrededor del eje de giro X es de $3,8$ kg m². El brazo debe dar un giro de 10 en un tiempo de 1 s, esperar 1 s y repetir el ciclo hasta dar un giro completo.

Figura 15 Brazo del ejemplo



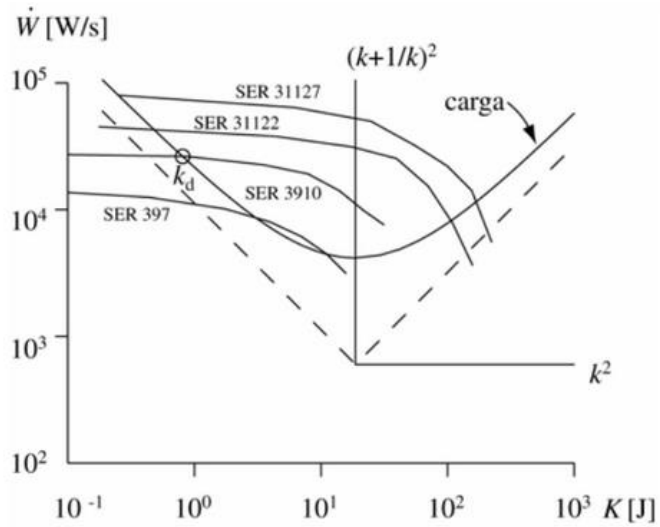
Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

El par debido a las resistencias pasivas, en esto caso por la fricción, se estima en $\Gamma_L = 35 \text{ N m}$.

En la figura 16 se representa el diagrama K-W del brazo y de cuatro servomotores. Entre las alternativas presentadas se elige el servomotor SER 3910, el momento de inercia del motor es $J_m = 240 \text{ kg mm}^2$ máxima se obtiene mediante $\alpha_{\max} = 12,57 \text{ rad/s}^2$ relación de transmisión óptima se determina al reemplazar los valores. Se obtiene $i_{\text{opt}} = 202,87$.

En la figura 16, se presenta el punto de operación con menor relación de transmisión, la constante $k_d = 0,2085$, permite establecer el rango de relaciones de transmisión que se puede seleccionar: $i = [k_d i_{\text{opt}} i_{\text{opt}}] = [42,29 \ 202,87]$

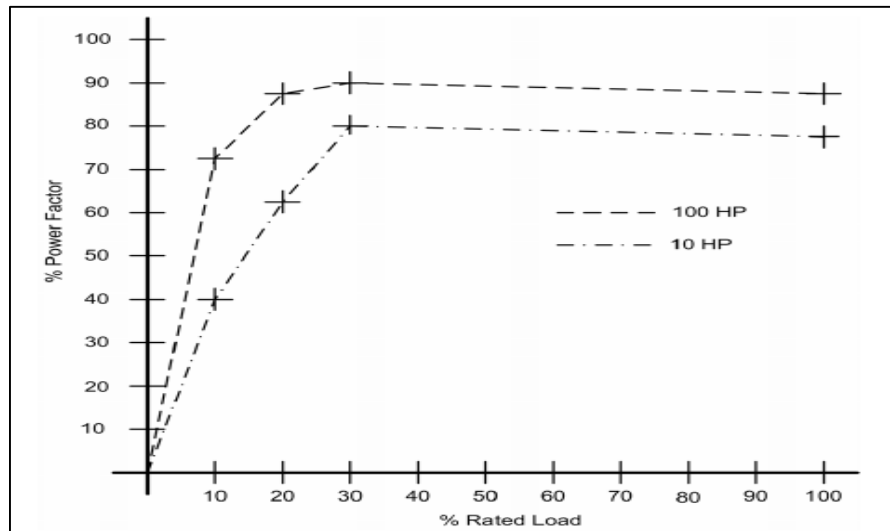
Figura 16 Diagrama K-W del brazo



Fuente: Drive Systems under Inertial Loads. Mechanisms and Machine Theory, (2003) pp. 519-533. Consultado 2015/04/20

Es recomendable que el punto de operación seleccionado, el motor disponga de una potencia transitoria adicional que permita vencer las resistencias pasivas que actúan en la transmisión. (Hector Fabio Quintero, 2003)

Figura 17 Eficiencia vs Carga (Voss, 2007)



Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25

Sin embargo, las curvas se pueden variar sustancialmente de un motor a otro y es difícil saber cuándo exactamente un motor es de gran tamaño. Como regla general, cuando un motor opera a 40% o menos de su carga nominal, es un buen candidato para la reducción de personal, especialmente en los casos en que la carga no varía mucho. Aplicaciones de motor servo por lo general requieren servicio de corta duración con cargas más altas, especialmente durante la aceleración y desaceleración, lo que obliga a mirar el promedio (RMS) de par y el pico torque de una aplicación.

Las ventajas de un sobredimensionamiento:

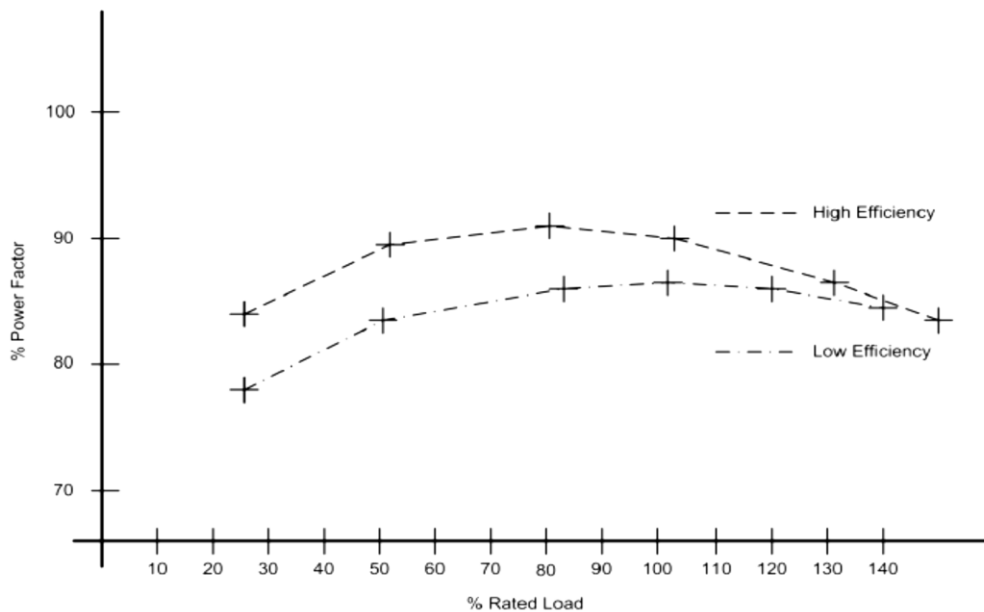
- Los componentes mecánicos: (por ejemplo, acoplamientos, rodamientos de bolas, etc.) pueden, dependiendo del entorno y calidad de servicio, encontrarse desgastados y como resultado pueden producir fuerzas de fricción superiores. Fuerzas de fricción que contribuyen a la constante de par de una configuración mecánica.

- Sobredimensionamiento: puede proporcionar capacidad adicional para expansiones futuras y puede eliminar la necesidad de sustituir el motor.
- Motores de gran tamaño: pueden soportar cargas elevadas imprevistas.
- Motores de gran tamaño: son más propensos a iniciar y operar en condiciones de mínima tensión.

En general, un modesto sobredimensionamiento de hasta 20% es absolutamente aceptable. (Voss, 2007)

Motores de alta eficiencia, en comparación con los motores estándar, mantendrán su nivel de eficiencia a través de una gama más amplia de cargas como lo muestra la figura 13 y son más adecuados para el sobredimensionamiento. (Voss, 2007)

Figura 18 Motor de alta y baja frecuencia.



Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25

El objetivo principal del tamaño del motor se basa en el viejo sentido americano para las empresas: obtener el mejor rendimiento por el precio más bajo. Los costos del ciclo de vida de un motor eléctrico son:

- Costos de Compras - 2%
- Reparación, servicio, mantenimiento, etc. - 2%
- Costos Operativos (electricidad) - 96%

Con el fin de obtener el mejor rendimiento al mejor precio, es obligatoria para encontrar el motor más pequeño que cumple los requisitos, es decir, el motor que coincide con el par de torsión requerido lo más cerca posible. El supuesto básico (lo cual es cierto para la mayoría de los casos) es que el par es pequeño en proporción directa al tamaño más pequeño, menores costos y menor consumo de energía. (Voss, 2007)

El tamaño del motor y el proceso de selección se basan en el cálculo del par de torsión y de la inercia impuesta por la configuración mecánica, además de la velocidad y la aceleración requerida por la aplicación. El motor seleccionado debe ser capaz de conducir con seguridad la configuración mecánica, proporcionando el par y la velocidad suficiente.

Una vez que se han establecido los requisitos, es fácil mirar ya sea en el par vs. Curvas de velocidad del motor, especificaciones y elegir el motor adecuado. El proceso de encolado implica los siguientes pasos:

- Establecimiento de objetivos de movimiento
- Selección de los componentes mecánicos
- Definición de un ciclo de carga
- Cálculo de cargas
- Selección del motor

El motor debe ser capaz de proporcionar el par requerido por la configuración mecánica más el par de torsión infligido por su propio rotor. Cada motor tiene su inercia del rotor específica, lo que contribuye a la torsión de todo el movimiento del sistema. Al seleccionar un motor el ingeniero necesita volver a calcular el par de carga para cada motor individual. (Voss, 2007)

1.2.11. Motor sin escobillas tipo brushless

Un motor eléctrico sin escobillas o motor brushless, es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor.

Los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos rozantes. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor. (Coches, 2010).

El inversor debe convertir la corriente alterna en corriente continua, y otra vez en alterna de otra frecuencia. Otras veces se puede alimentar directamente con corriente continua, eliminando el primer paso. Por este motivo, estos motores de corriente alterna se pueden usar en aplicaciones de corriente continua, con un rendimiento mucho mayor que un motor de corriente continua con escobillas. Algunas aplicaciones serían los coches y aviones con radiocontrol, que funcionan con pilas. (Coches, 2010).

Otros motores sin escobillas, que sólo funcionan con corriente continua son los que se usan en pequeños aparatos eléctricos de baja potencia, como lectores de CD-ROM, ventiladores de ordenador, casetes, entre otros. Su mecanismo se basa

en sustituir la conmutación (cambio de polaridad) mecánica por otra electrónica sin contacto. En este caso, la espira sólo es impulsada cuando el polo es el correcto, y cuando no lo es, el sistema electrónico corta el suministro de corriente. Para detectar la posición de la espira del rotor se utiliza la detección de un campo magnético. Este sistema electrónico, además, puede informar de la velocidad de giro, o si está parado, e incluso cortar la corriente si se detiene para que no se queme. Tienen la desventaja de que no giran al revés al cambiarles la polaridad (+ y -). Para hacer el cambio se deberían cruzar dos conductores del sistema electrónico. (Coches, 2010).

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. (Etitudela, 2015, pág. 2)

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, para mejor rendimiento y obtención de mejor par en menor tamaño. (Etitudela, 2015)

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. (Etitudela, 2015)

- **Componentes del motor brushless:** Los motores Brushless están compuestos por una parte móvil que es el rotor, que es donde se encuentran los imanes permanentes, y una parte fija, denominada estator o

carcasa, sobre la cual van dispuestos los bobinados de hilo conductor. La imagen refleja una sección de uno de estos motores en donde puede verse la disposición de los bobinados y los imanes permanentes (que en este caso son de neodimio). (Coches, 2010)

- **Funcionamiento:** Como su propio nombre indica, Brushless quiere decir "sin escobillas". En este tipo de motor la corriente eléctrica pasa directamente por los bobinados del estator o carcasa, por lo tanto aquí no son necesarias ni las escobillas ni el colector que se utilizan en los brushed. Esta corriente eléctrica genera un campo electromagnético que interacciona con el campo magnético creado por los imanes permanentes del rotor, haciendo que aparezca una fuerza que hace girar al rotor y por lo tanto al eje del motor.

Figura 19 Detalle del rotor y estator de un motor brushless



Fuente: www.e-radiocontrol.com.ar. Consultado 2014/03/26

Las características principales de este tipo de motores son: prestaciones y 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) (Eitudela, 2015)

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. La posibilidad de construcción de servomotores de distintas formas (compactos, planos, rotor hueco, etc.) permite la adaptación de los mismos a diversas aplicaciones industriales. (Eitudela, 2015)

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. (Eitudela, 2015)

Figura 20 Servomotor compacto



Fuente: (Eitudela, 2015), Consultado 2015/03/26

Figura 21 Servomotor con encoder incorporado



Fuente: (Etitudela, 2015). Consultado 2015/03/26

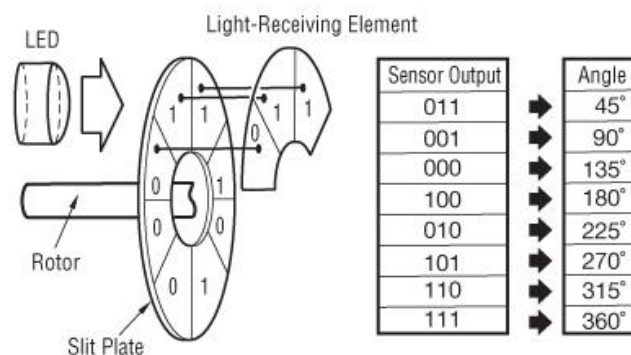
1.2.12. Encoder

Un encoder, también conocido como codificador o decodificador en español, es un dispositivo, circuito, programa de software, un algoritmo o incluso hasta una persona cuyo objetivo es convertir información de un formato a otro con el propósito de estandarización, velocidad, confidencialidad, seguridad o incluso para comprimir archivos. (ibaindustrial, 2014)

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. Puede ser incremental o absoluto. El incremental no distingue el sentido de giro, el absoluto si (en un sentido incrementa el valor, en el otro decrementa). 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. (Etitudela, 2015)

- **Encoder Absoluto:** Capaz de detectar la posición absoluta dentro de una rotación del motor servo, el codificador absoluto da salida a la posición absoluta del ángulo de rotación. Normalmente, la información de rotación múltiple se transmite al servo amplificador cuando la fuente de energía está activada, y que la información es luego transferida a los datos de la posición actual. (Orientalmotor, 2015)

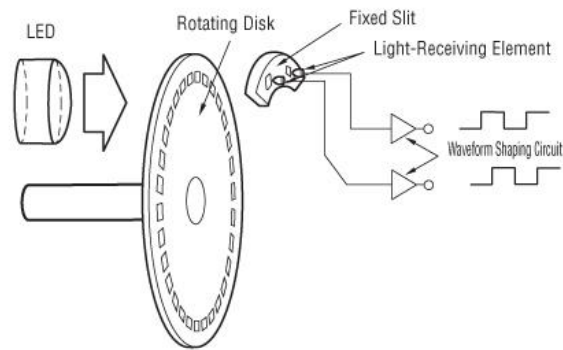
Figura 22 Encoder absoluto



Fuente: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/servo-motor-glossary.html>. Consultado 2015/03/26

- **Encoder incremental:** Capaz de detectar la dirección de rotación, la velocidad y la rotación del motor servo, el codificador incremental emite el pulso con respecto a la parte de cambio del ángulo de rotación. Por lo general, la salida de forma de onda de detección es sin modificaciones, y por lo tanto la posición actual se pierde cuando el equipo está apagado. (Orientalmotor, 2015)

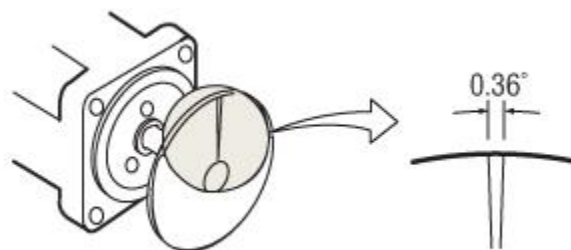
Figura 23 Encoder incremental



Fuente: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/servo-motor-glossary.html>. Consultado 2015/03/26

- Resolución:** El ángulo se muestra para la rotación del motor con un solo pulso. La resolución determina la precisión de posicionamiento del motor. Por ejemplo, si la resolución es de 1,000 p / rev , una rotación del motor (360 °) se puede dividir en 1.000 partes .

Figura 24 Resolución



Fuente: <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/servo-motor-glossary.html>. Consultado 2015/03/26

1.3. DEFINICIÓN DEL CICLO DE CARGA EN UN SERVOMOTOR

Un ciclo de carga, es decir, la forma en que se aplica el movimiento real, puede tener numerosas formas. Hay por ejemplo, aplicaciones simples como sopladores, unidades transportadoras, bombas, etc. Que requieren un cambio gradual o constante del par en un tiempo muy largo. El tamaño de un motor para estas aplicaciones es bastante simple y no requiere mayor procesamiento del ciclo de movimiento. Para las aplicaciones de servo, es más complejo ya que se requieren cambios abruptos de par frecuentes, durante el ciclo de carga. (Voss, 2007)

Las formas más simples de ciclos de carga en servomotores son perfil de movimiento triangular y trapezoidal. Se definen los datos más críticos, tales como la velocidad máxima y la máxima aceleración y que son suficientes para cubrir la mayoría de aplicaciones de movimiento y la subsiguiente determinación de los requerimientos de torque. Naturalmente también hay perfiles de movimiento muy complejos y su procesamiento detallado dará lugar a una determinación más precisa de la demanda de par RMS, mientras que el pico (intermitente) requisito de par depende principalmente de la aceleración máxima dentro del ciclo de movimiento. (Voss, 2007)

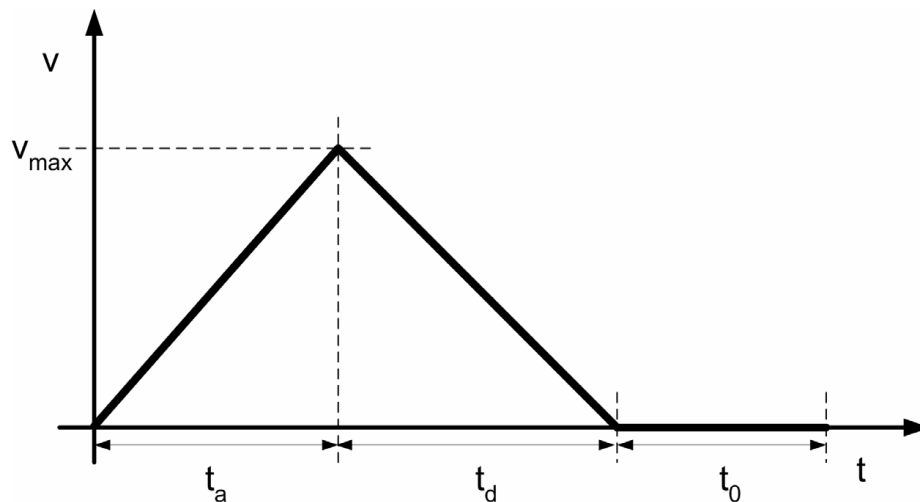
Para procesar el ciclo de carga se debe definir la velocidad máxima, aceleración máxima, tiempo de ciclo de trabajo, las rampas de aceleración y desaceleración, tiempo de permanencia, etc., específicos para la aplicación. (Voss, 2007)

Hay dos tipos básicos (y muy similares) de un perfil de movimiento (ciclo de trabajo / carga):

- Movimiento triangular
- Movimiento trapezoidal

1.3.1. Perfil de movimiento triangular

Figura 25 Demostración del perfil de movimiento triangular



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor>. Consultado 2015/03/25

V : Velocidad

V_{max} : Velocidad

t : Tiempo

t_a : Tiempo de aceleración

t_d : Tiempo desaceleración

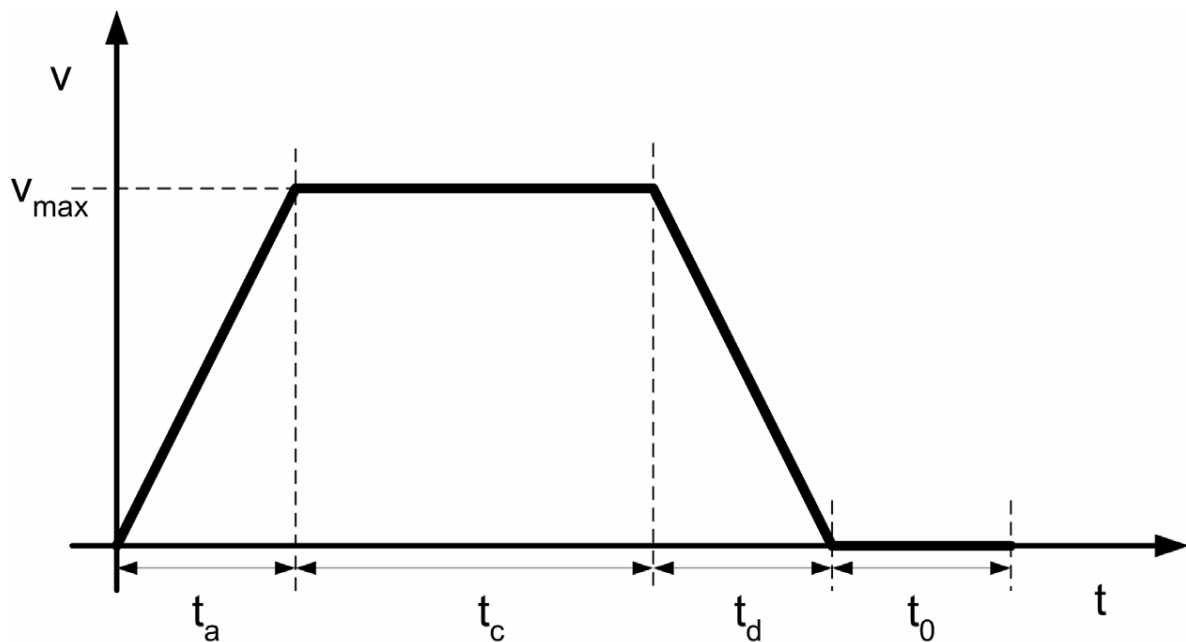
t_0 : Tiempo de permanencia (tiempo a velocidad cero)

El motor se acelera a la velocidad máxima y luego inmediatamente después de alcanzar el máximo desacelera hacia cero. Dependiendo de la aplicación del motor puede permanecer en reposo durante algún tiempo. (Voss, 2007)

Para aplicaciones lineales no horizontales, es decir, la carga se está moviendo en un ángulo hacia arriba o abajo, es importante considerar el uso de un freno de retención. El motor necesita compensar la fuerza de gravedad de la carga durante los ciclos de velocidad cero, lo que sin el uso de un freno de parada, dará lugar a requisitos de par más altos. (Voss, 2007)

1.3.2. Perfil de movimiento trapezoidal

Figura 26 Demostración del perfil de movimiento trapezoidal



Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25

V : Velocidad

V_{max} : Velocidad máxima

t : Tiempo

t_c : Tiempo constante

t_a : Tiempo de aceleración

t_d : Tiempo desaceleración

t_0 : Tiempo de permanencia (tiempo a velocidad cero)

El motor se acelera a la velocidad máxima, mantiene esa velocidad durante un tiempo y luego desacelera hacia cero. Dependiendo de la aplicación del motor puede permanecer en reposo durante algún tiempo. (Voss, 2007)

Las siguientes ecuaciones son universales entre los perfiles de movimientos triangulares y trapezoidales, teniendo en cuenta que un perfil de movimiento triangular se comporta como un perfil de movimiento trapezoidal sin la constante de tiempo (tiempo a velocidad constante).

Para el cálculo de los requerimientos de torque que necesitamos los siguientes datos del perfil de movimiento:

Torque RMS

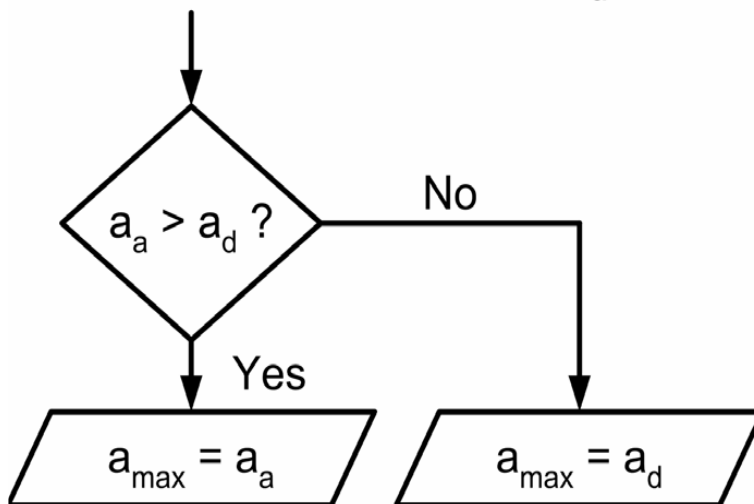
- Ciclo total de tiempo
- Tiempo de aceleración / desaceleración
- Constante de tiempo (tiempo a velocidad constante; será cero para el perfil triangular)
- Tiempo de espera (tiempo a velocidad cero)
- Aceleración máxima / desaceleración (Torque = Inercia Tiempos de aceleración)

Los parámetros del ciclo de trabajo para la determinación del par RMS naturalmente se pueden derivar directamente del perfil de movimiento. La aceleración máxima se calcula como se muestra a continuación:

1. Aceleración $a_a = \frac{V_{max}}{t_a}$

2. Desaceleración $a_d = \frac{V_{max}}{t_d}$

Figura 27 Determinación de la máxima aceleración

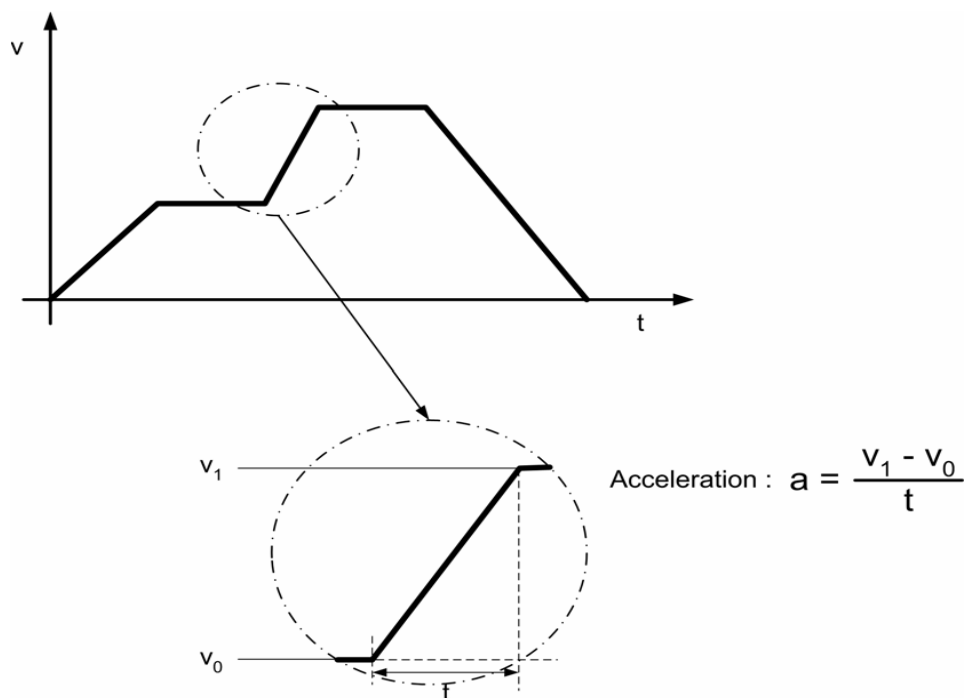


Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25

Con el fin de determinar el máximo de aceleración y desaceleración es necesario utilizar el valor absoluto de la desaceleración, ya que la desaceleración es básicamente un negativo de la aceleración. El par máximo se producirá durante el mayor aceleración y desaceleración.

En caso de que se requiere un perfil de movimiento más complejo, se tendrá que procesar todos los segmentos de tiempo en para calcular el par de RMS. Para calcular el pico (intermitente) se necesita grabar la aceleración / deceleración de cada segmento de tiempo y determinar la aceleración máxima a partir de estos. (Voss, 2007)

Figura 28 Cálculo de aceleración de perfil de movimiento complejo

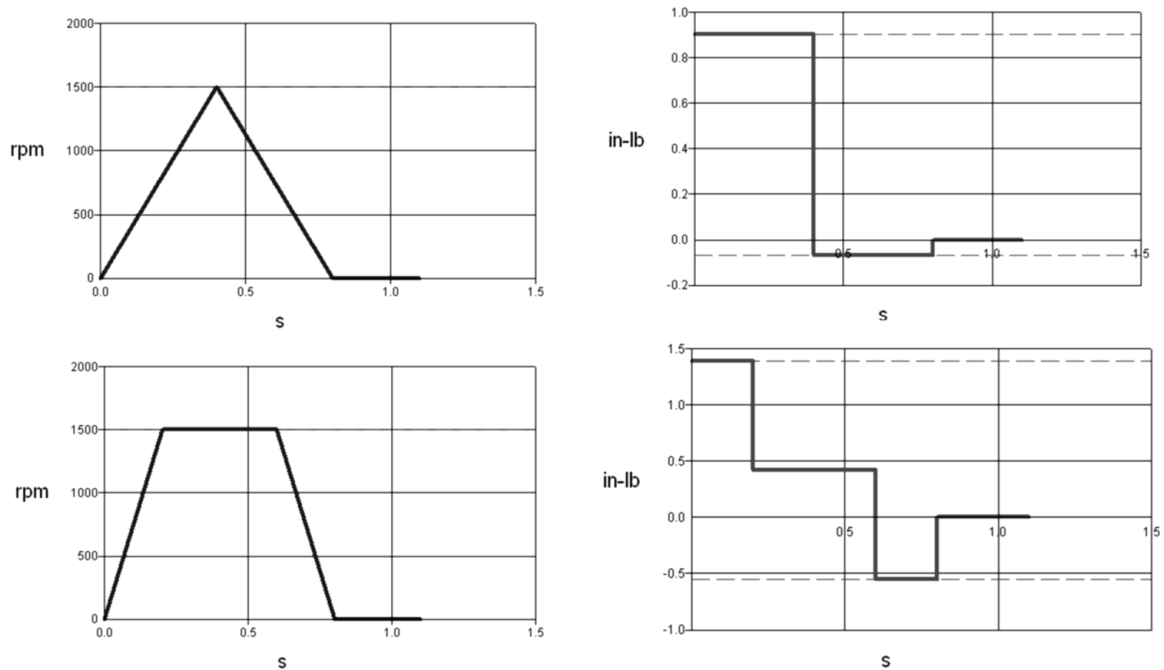


Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25

Algunas aplicaciones pueden requerir diferentes rampas de desaceleración, por ejemplo, uno para regular de desaceleración (comando normal de parada) y otro para la operación de emergencia (parada de emergencia comando). En tal caso, la desaceleración de parada de emergencia puede determinar el más alto requerimiento de torque. (Voss, 2007)

En la siguiente figura se muestra la diferencia entre un perfil de movimiento triangular y un perfil de movimiento trapezoidal en términos de requisitos de par.

Figura 29 Perfil de torque durante un movimiento triangular y trapezoidal (Voss, 2007)



Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25

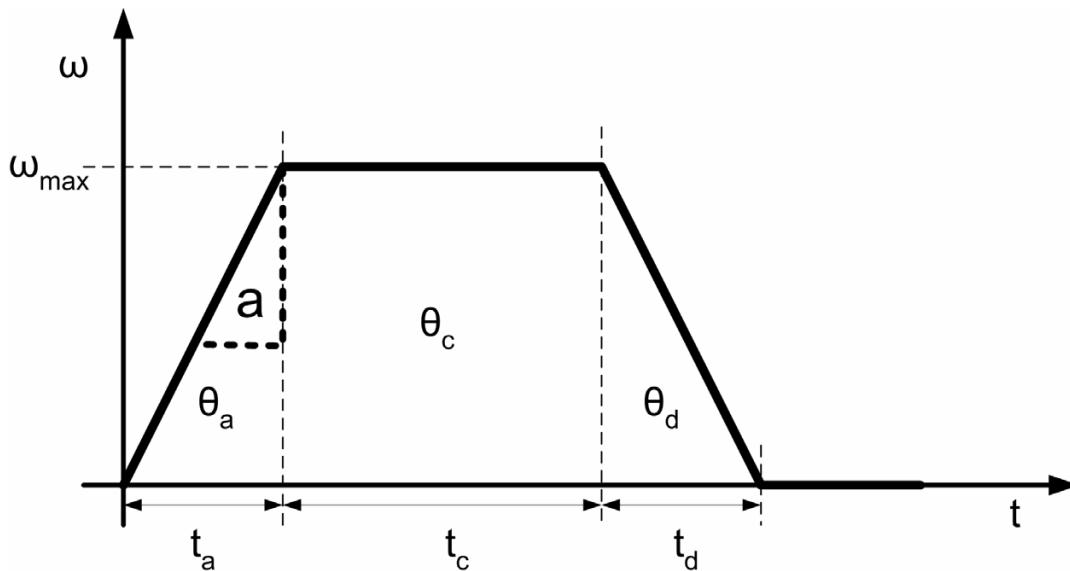
Ambos perfiles de movimiento utilizan el mismo tiempo de ciclo total. El perfil trapezoidal, sin embargo, requiere una mayor velocidad de desaceleración y de aceleración, lo que a su vez se traduce en requerimientos de torque superiores. Esta circunstancia puede ser de importancia para algunas aplicaciones de control de movimiento. (Voss, 2007)

1.3.3. Cálculo del perfil de movimiento

El cálculo del perfil de movimiento se explicará de forma genérica. Las ecuaciones que se muestran se basan en el uso de radianes por distancia recorrida, radianes /

Seg para velocidad y radianes / seg² para la aceleración y desaceleración. (Voss, 2007)

Figura 30 Cálculo de aceleración en Perfil de movimiento trapezoidal



Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25

Tabla 1 Variables de movimiento

Símbolo	Descripción	Unidad de ángulo	Unidad de rotación
Ω	Velocidad	Rad/sec	RPM
Ω_{max}	Velocidad máxima	Rad/sec	RPM
A	Aceleración	Rad/sec ²	rev/sec ²
Θ	Distancia	Rad	Rev
Θ_a	Distancia durante la aceleración	Rad	Rev
Θ_c	Distancia durante la velocidad constante	Rad	Rev
Θ_d	Distancia durante la desaceleración	Rad	Rev
T	Tiempo	Sec	Sec
T_a	Tiempo de aceleración	Sec	Sec
T_c	Tiempo constante	Sec	Sec
T_d	Tiempo de desaceleración	Sec	Sec

Fuente: <http://www.copperhilltech.com>. Consultado 2015/03/25.

Las ecuaciones para movimientos trapezoidales son:

$$\theta_{TOTAL} = \theta_a + \theta_c + \theta_d = \omega_{max} \times \left(\frac{\tau_a}{2} + \tau_c + \frac{\tau_d}{2} \right)$$

$$\omega_{max} = \frac{\theta_{TOTAL}}{\left(\frac{\tau_a}{2} + \tau_c + \frac{\tau_d}{2} \right)}$$

Las ecuaciones para movimientos triangulares con $\tau_c = 0$ son:

$$\theta_{TOTAL} = \theta_a + \theta_c + \theta_d = \omega_{max} \times \left(\frac{\tau_a}{2} + \tau_c + \frac{\tau_d}{2} \right)$$

$$\omega_{max} = \frac{\theta_{TOTAL}}{\left(\frac{\tau_a}{2} + \tau_c + \frac{\tau_d}{2} \right)}$$

Con $\tau_a = \tau_d$

$$\omega_{max} = \frac{\omega_{TOTAL}}{\tau_a}$$

Estas ecuaciones se pueden recordar fácilmente sabiendo que el área bajo la velocidad vs. Segmentos de tiempo representa la distancia recorrida y sus pendientes son la aceleración. Las ecuaciones se basan por tanto en el cálculo del área de rectángulos y triángulos y sus ángulos, respectivamente.

1.4. SERVO DRIVER CONTROLADOR DE SERVOMOTOR

El servo es al drive, como el variador de frecuencia es a un motor, son tarjetas electrónicas con varias salidas independientes de un determinado número de bits para el control de los diferentes movimientos. (Servomotor, 2013)

El dispositivo electrónico denominado servodrive alimenta el estator con la tensión y frecuencia correcta, permite en cada instante, generar un campo magnético estático de magnitud y posición correctamente alineada con el campo magnético de rotor. De esta forma obtenemos el torque necesario para mantener la velocidad y posición deseada del eje del motor. (Servomotor, 2013)

1.4.1. Tipos de controladores

El tipo de control puede ser de tres tipos: analógico, digital e híbrido en función del tipo de la señal que use el detector de error, en caso de ser un sistema en bucle cerrado, o en el regulador en caso de ser un sistema en bucle abierto. (Servomotor, 2013)

Servo drive analógico

Las variables están representadas por ecuaciones con cantidades físicas continuas. El proceso directo de la señal analógica está ligado al uso de amplificadores operacionales y sus propiedades. (Servomotor, 2013)

Servo drive digital

Funcionan con variables discontinuas codificadas, son utilizados generalmente para la resolución de problemas referidos al funcionamiento óptimo global de

una planta industrial, la toma de decisiones es una función inherente a los controladores digitales. (Servomotor, 2013)

Servo drive análogo digital

Son los denominados controladores híbridos, los controles de funcionamiento más sofisticados suelen ser de este tipo, ya que es probable que tengan que procesar diversas señales de ambos tipos. (Servomotor, 2013)

1.4.2. Funcionamiento de los controladores del servo

Cuando se envía un comando a un servo para que este se mueva a una posición determinada, el servo debe calcular a la distancia que debe moverse para tomar dicha posición. Este cálculo lo realiza restando la diferencia entre su posición actual y la posición del comando. Esta diferencia recibe el nombre de error. (Servomotor, 2013)

El trabajo principal del servo a lo largo de su vida es mantener este error lo más próximo a cero que sea posible. Esto lo consigue aplicando la potencia a su motor interno, para que el eje de salida se mueva en la dirección que sirva para minimizar el error. (Servomotor, 2013)

En un caso ideal en el que un servo dispone de un engranaje sin fricción, el par motor hará que el eje de salida se mueva ligeramente, y el valor absoluto del error aumentará a un valor diferente de cero. Al intentar que el valor del error sea cero, el servo aplicará potencia al motor en contra del par motor. El CPU en la placa analiza esta condición. (Servomotor, 2013)

La presencia de fricción puede en algunos casos suponer una ventaja, dado que puede provocar histéresis (retardo magnético) cuando el movimiento del servo

cambia de dirección. La placa del servo realmente registra el valor absoluto del par motor, no del par motor por sí mismo, lo que implica que es posible inferir el signo del par motor comparando las lecturas del par motor cuando el servo se acerca a una determinada posición desde dos direcciones diferentes. (Servomotor, 2013)

Normalmente, los servos deben ser calibrados si desea poder relacionar cuantitativamente el par motor real con los valores numéricos del par motor que registra la placa. Para una calibración típica, se aplicaría un par motor conocido al servo, expresado en unidades de Newton-metros o en onzas-pulgadas, a continuación se leería el valor que devuelva la placa de servo. Las curvas de calibración generalmente varían, dependiendo del diseño y tamaño de cada servo.

En un caso real, lo habitual es que el engranaje del servo tenga una cierta fricción. Esta fricción debe tomarse en consideración, dado que el par motor en proceso de medición se encuentra en realidad en el eje del motor y no en el eje de salida. (Servomotor, 2013)

El proceso implica conocer en todo instante la posición del rotor para lo cual se equipan los servomotores con dispositivos tales como resolver, encoder u otros. Los mismos rotan solidariamente con el eje del servomotor e informan al servo-drive la posición del rotor. Dichos dispositivos de realimentación de posición se diferencian en la robustez, resolución, capacidad de retener la información de posición ante cortes de alimentación y número de conexiones necesarias entre otras. Por ejemplo en un servo máquina de tracción directa que rota normalmente a una velocidad nominal de algunas centenas de rpm deberemos seleccionar dispositivos con un alto número de pulsos por revolución a fin de tener control de torque durante la partida y parada del motor. (Servomotor, 2013)

Las ventajas más significativas de los controladores digitales ante a los analógicos son:

Los controladores digitales pueden realizar cálculos muy complejos a una velocidad muy alta y con el grado de exactitud que se necesite, con un coste relativamente reducido, mientras que en los analógicos el coste aumenta rápidamente ante la complejidad de los cálculos si se requiere una elevada exactitud y no es posible alcanzar la misma velocidad de resolución.

Los controladores digitales son mucho más versátiles, simplemente cambiando el programa de aplicación, se pueden modificar absolutamente las operaciones a realizar. (Servomotor, 2013)

En la actualidad la función de controlador dentro de un sistema de control suele desempeñarla un ordenador, porque presenta una serie de ventajas como son:

Potencialidad: Realización de acciones de control de elevada complejidad.

Control multi variable: Es capaz de controlar simultáneamente varios procesos o varias variables de un mismo proceso.

Flexibilidad: Fácil cambio de estrategias de control, modificando o sustituyendo el programa.

Precisión: Es capaz de presentar un margen de precisión tan fino como se necesite.

Inmunidad: Al actuar con señales digitales, éstas son inmunes al ruido y a las distorsiones, pudiendo regenerarse en caso de ser necesario.

Versatilidad: Además de la propia función de control puede desempeñar otras simultáneamente, estadísticas, informes, emisión de alarmas.

Tiene un grave inconveniente y es que un fallo en el sistema paraliza todo el proceso, así como el que para controlar sistemas sencillos se necesita elementos de software y hardware sofisticados.

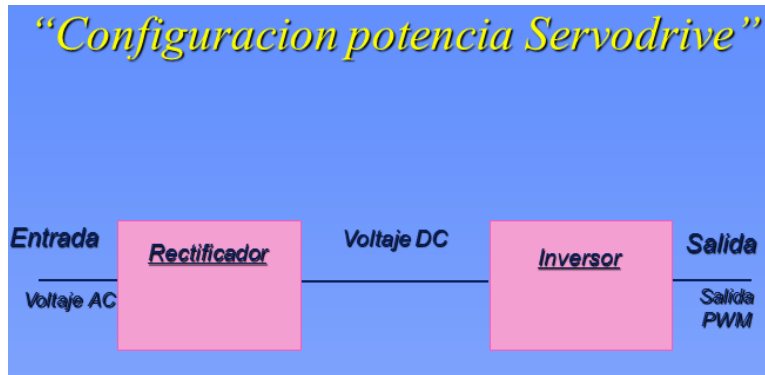
Otra desventaja significativa, es que a día de hoy el precio de este tipo de controladores es bastante superior a los controladores continuos, aunque el precio se reduce día a día de forma exponencial. (Servomotor, 2013)

1.4.3. Operación de los servo drive

Actualmente los servo drives operan por técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM) con configuraciones de hardware (básicamente en la parte de potencia) parecidas a los inversores para el control de motores asíncronos. De hecho existen en el mercado drives que permiten controlar ambos tipos de motores.

Debe puntualizarse que para la operación normal de un servomotor necesitamos un servo drive, el motor no puede ser operado directamente de la red de suministro.

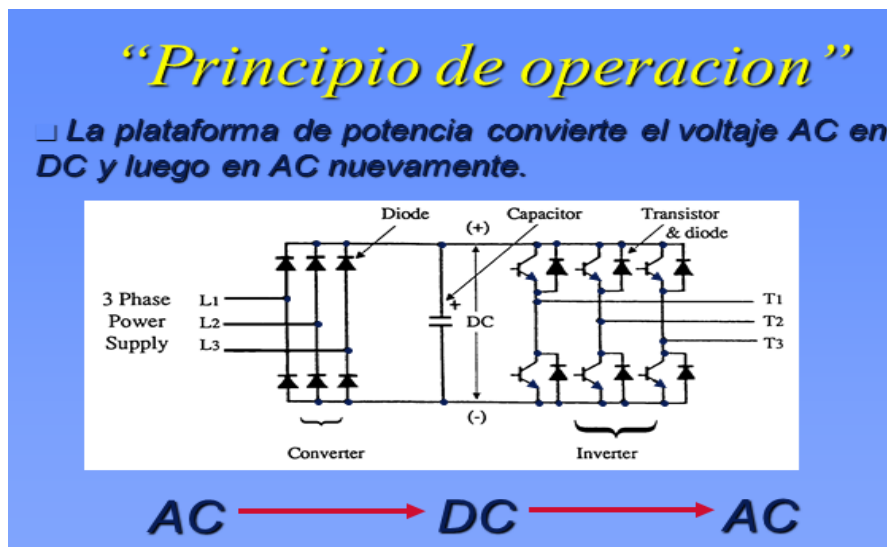
Figura 31 Configuración de potencia del servo drive



Fuente: www.yaskawa.com. Consultado 2015/02/12

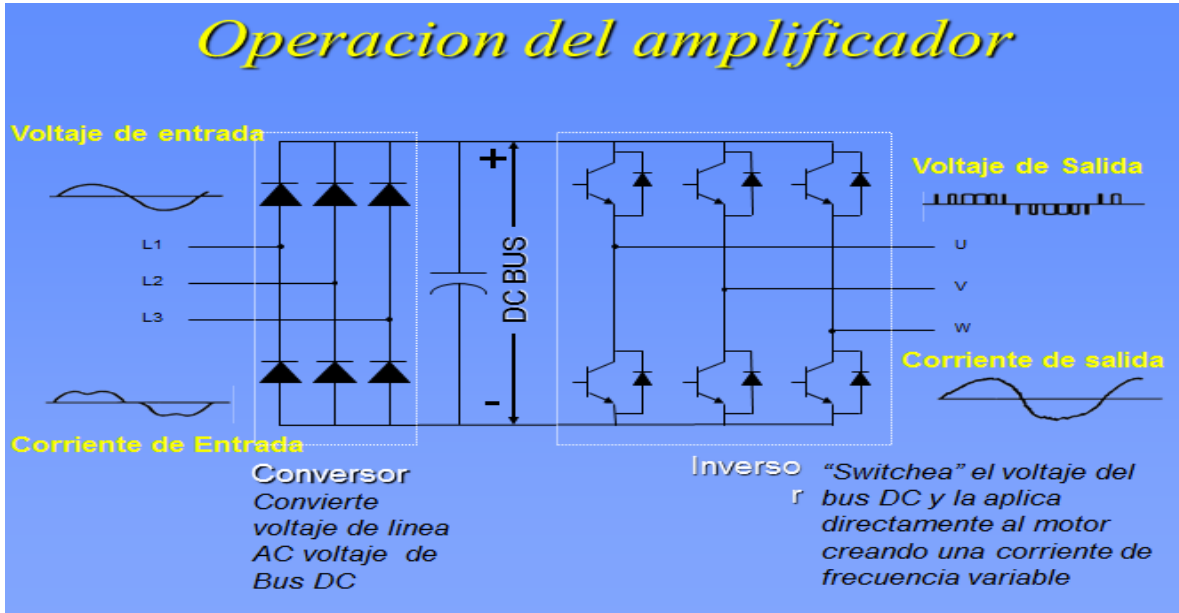
La plataforma de potencia convierte el voltaje de AC en DC y luego en AC nuevamente, como se muestra en la figura 10.

Figura 32 Principio de operación del servo drive



Fuente: www.yaskawa.com. Consultado 2015/02/12

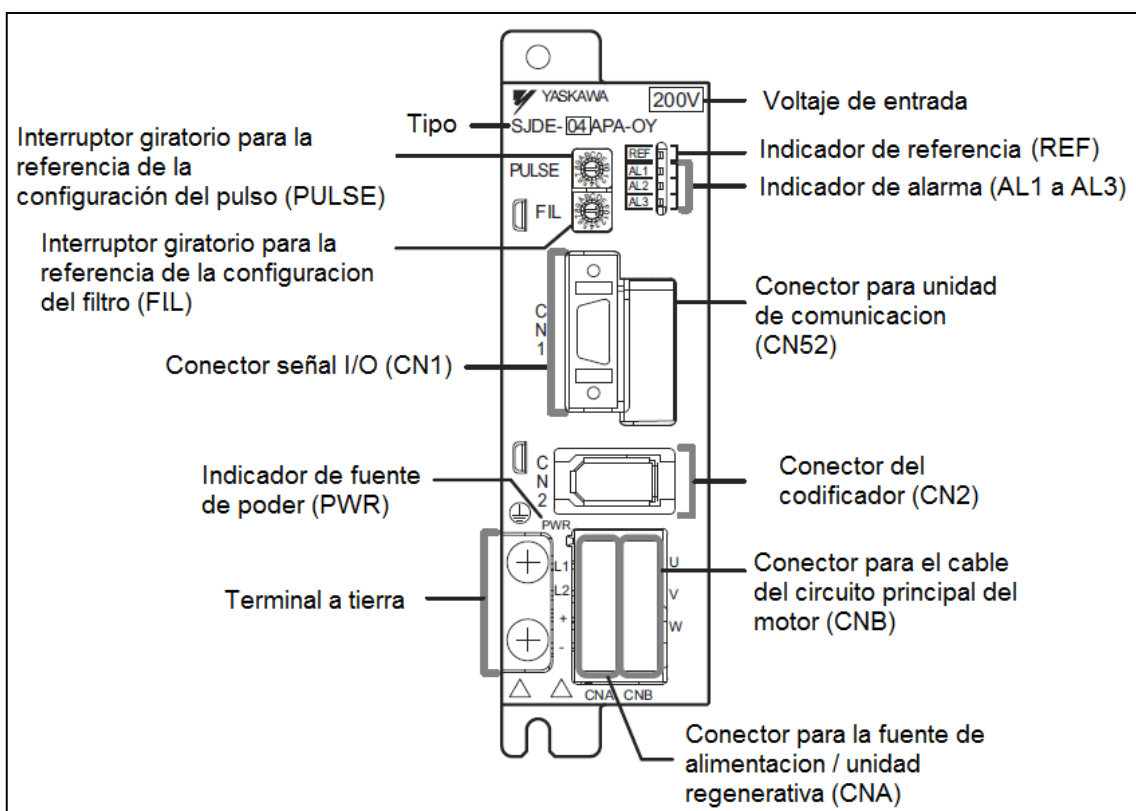
Figura 33 Operación del amplificador



1.4.4 Servodrive JUNMA SJDE-01APA-OY

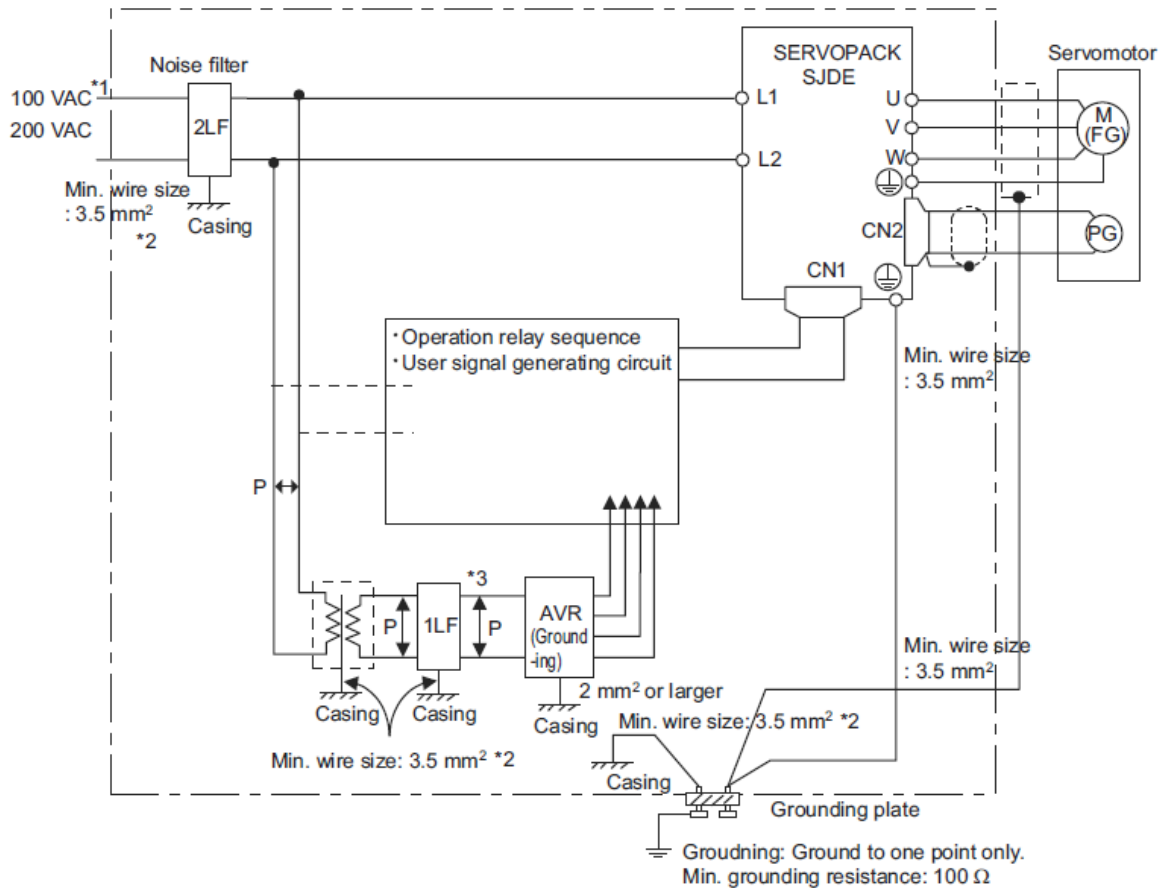
- **Nombres de las conexiones del dispositivo y funciones:** El dispositivo presenta diferentes conexiones, las configuraciones para cada una de estas se puede ver en detalle en la figura 27.

Figura 34 Nombre de las conexiones del dispositivo



Fuente: <https://www.yaskawa.com/manualdelusuario>. Consultado 2015/03/25

Figura 35 Diagrama de conexión del servodrive SJDE



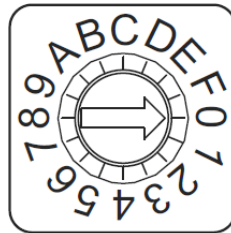
Fuente: Manual servopack JUNMA. Consultado 2015/03/25

1.4.5. Configuración de la referencia por pulsos (PULSE)

El interruptor giratorio es utilizado para generar diferentes pulsos dependiendo de la respuesta requerida por el usuario. Se puede observar el detalle de su configuración, la perilla detallada es la descrita la figura siguiente.

Figura Perilla pulso.

PULSE



Fuente: <https://www.yaskawa.com/>. Consultado 2015/03/25

Figura 36 Configuración de la referencia por pulsos

Valor de ajuste	Frecuencia de entrada	Pulso de referencia de resolución (P/REV)	Método de conexión del pulso de referencia	Tipo de pulso de referencia
0	Hasta	1000	Colector abierto o conductor de línea	CW CCW
1	187.5 kpps	2500		
2	187.5 hasta	5000	Conductor de línea	CW+CCW
3	750 kpps	10000		LOGICA POSITIVA
4	Hasta	1000	Colector abierto o conductor de línea	CW CCW
5	187.5 kpps	2500		
6	187.5 hasta	5000	Conductor de línea	CW+CCW
7	750 kpps	10000		LOGICA NEGATIVA
8	Hasta	1000	Colector abierto o conductor de línea	PULS SIGN
9	187.5 kpps	2500		
A	187.5 hasta	5000	Conductor de línea	SENAL+ SECUENCIA DE PULSO
B	750 kpps	10000		LOGICA POSITIVA
C	Hasta	1000	Colector abierto o conductor de línea	PULS SIGN
D	187.5 kpps	2500		
E	187.5 hasta	5000	Conductor de línea	SENAL+ SECUENCIA DE PULSO
F	750 kpps	10000		LOGICA NEGATIVA

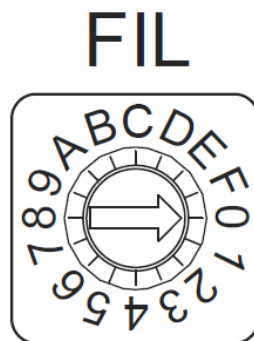
Fuente: <https://www.yaskawa.com/manualjunma>. Consultado 2015/03/25

Es importante que se realicen las configuraciones luego de estar apagado el dispositivo, la configuración de fábrica es cero. (Yaskawa, 2010)

1.4.6. Configuración de la referencia del filtro (FIL)

El interruptor giratorio o perilla de filtro es utilizado para realizar los ajustes necesarios en el tiempo requerido para el sistema. En la figura se puede observar el detalle de su configuración. (Yaskawa, 2010)

Figura 37 Perilla de filtro.



Fuente: <https://www.yaskawa.com/manualjunma>. Consultado 2015/03/25

Figura 38 Configuración de la referencia del filtro.

Valor de la configuración del filtro	Aceleración / Desaceleración Tiempo para la referencia del escalón	Tiempo aprox. entre completar la Referencia y Posicionamiento completando (ajustar tiempo)	Descripción
0	45 ms	100 a 200 ms	Filtro pequeño de tiempo constante (Tiempo corto de posicionamiento)
1	50 ms	110 a 220 ms	
2	60 ms	130 a 260 ms	
3	65 ms	150 a 300 ms	
4	70 ms	170 a 340 ms	Filtro largo de tiempo constante (Pequeña vibración con un largo tiempo de posicionamiento)
5	80 ms	200 a 400 ms	
6	85 ms	250 a 500 ms	
7	170 ms	500 a 1000 ms	
8 hasta F	No ajustar entre el 8 y la F		

Fuente: <https://www.yaskawa.com/manualjunma>. Consultado 2015/03/25

Cuando el operador digital y el JunmaWin están en uso, ajuste Pn170.0 hasta 0 para habilitar las configuraciones del filtro interruptor.

Para operar esta perilla se deben tener en cuenta los siguientes ítems:

- La configuración de fábrica es 0. Si la maquina vibra, este valor debe ser cambiado.
- Si la maquina vibra cuando para o arranca, ajuste un valor mayor.
- El valor depende las condiciones tales como el nivel de aceleración y desaceleración de los comando, la rigidez de la máquina y la respuesta del motor (interruptor PULSE).

- Seleccione la correcta capacidad del servomotor con estos valores si se utiliza una referencia de escalón que no tenga la aceleración y la desaceleración del tiempo.

1.4.7. Referencia del display (REF)

Si el indicador se encuentra encendido de color naranja el motor se encuentra apagado, si la luz es intermitente de color naranja está apagado pero en la entrada hay un pulso de referencia. (Yaskawa, 2010)

Si el indicador se encuentra encendido de color verde el motor está encendido y si la luz es intermitente, existe una entrada de referencia de pulso. (Yaskawa, 2010)

1.4.8. Visualización de alarmas (AL1, AL2, AL3)

Dependiendo de cuál alarma se encuentre encendida, indica el significado de las correcciones que se tienen que hacer, por ejemplo si AL1 es el único encendido, este presenta un error de velocidad (Speed error), si AL1 y AL3 estuvieran encendidos se tendría una sobre corriente (Overcurrent) o si fuera AL2 el que estuviera encendido se tendría una sobre carga (Overload). (Yaskawa, 2010)

Todas estas alarmas se pueden encontrar detalladamente en la figura , donde cada indicador evidencia el tipo de alarma presentada y la corrección o el ajuste que debe hacerse para el funcionamiento del sistema. (Yaskawa, 2010)

Figura 39 Indicador de alarmas

■: Lit □: OFF

Indicators	Meaning of Alarm	Indicators	Meaning of Alarm
AL1 □ AL2 □ AL3 □	Normal	AL1 ■ AL2 □ AL3 ■	Overcurrent
AL1 ■ AL2 □ AL3 □	Speed error	AL1 □ AL2 ■ AL3 ■	SERVOPACK's built-in fan stop
AL1 □ AL2 ■ AL3 □	Overload	AL1 ■ AL2 ■ AL3 ■	System error
AL1 ■ AL2 ■ AL3 □	Encoder error	AL1 ■ □ AL2 ■ ← □ AL3 ■ □ Blinks at regular intervals.	Rotary switch for reference pulse setting (PULSE) changed. The settings were changed for parameters that require the power to be restarted.
AL1 □ AL2 □ AL3 ■	Voltage error		

Fuente: <https://www.yaskawa.com/manualjunma>. Consultado 2015/03/25

1.4.9. Configuración del sistema y conexión

En el conector de la unidad de comunicación (CN52) se conectan tanto el operador digital como el computador en el cual se encuentra el software JunmaWin, para gestión y monitoreo de la unidad SJDE SERVOPACK. Un operador digital o el software JunmaWin puede ser usado con el SERVOPACK versión 03303 o la versión de firmware 0003 o posterior. Es importante tener precaución cuando no está conectado ningún dispositivo, la tapa protectora

siempre debe estar en el conector ya que puede causar daños en el SERVOPACK. (Yaskawa, 2010)

En el conector CN1, se encuentra la señal del cable I/O (Input/Output) que tiene como destino el controlador host. Las referencias de los trenes de pulsos son dados para controlar la posición del servomotor. Las siguientes salidas de trenes de pulsos son soportadas por el controlador host: (Yaskawa, 2010)

- Línea de salida del controlador
- +24 V salida de colector abierto
- +12 V salida de colector abierto
- +5 V salida de colector abierto

En el conector CN2, se conecta el cable codificador (para el relay) que se dirige al motor Yaskawa Servomotor SJME. (Yaskawa, 2010)

En las entradas de alimentación de corriente CNA y CNB, se conectan respectivamente los conectores de poder de alimentación / unidad regenerativa y conectores para el circuito del cable principal del motor. Es muy importante tener precaución al conectar el CNA y el CNB, ya que una conexión errónea puede provocar un corto eléctrico, lesión o daño del equipo. (Yaskawa, 2010)

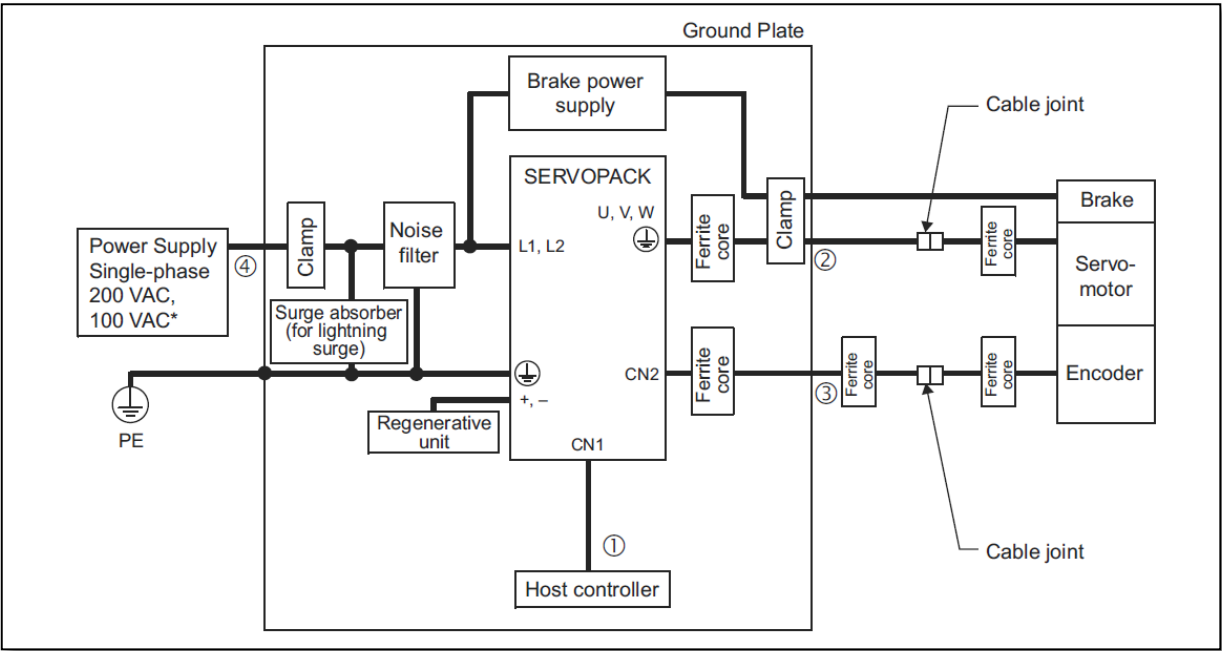
A los conectores CNA también van conectados el reactor AC, usado como fuente de poder para suprimir armónicos y el contacto magnético para apagar el equipo en caso de que se use la unidad regenerativa o en caso de emergencia y desde el cual se desprenden conexiones para alimentar el servomotor, conexiones de 24 V DC, conectadas a un varactor y a un relay. (Yaskawa, 2010)

Antes del contacto magnético se encuentra el filtro de ruido, utilizado para suprimir los sonidos emitidos desde las líneas de poder.

La unidad regenerativa también está conectada al CNA, utilizada si la energía regenerativa es alta.

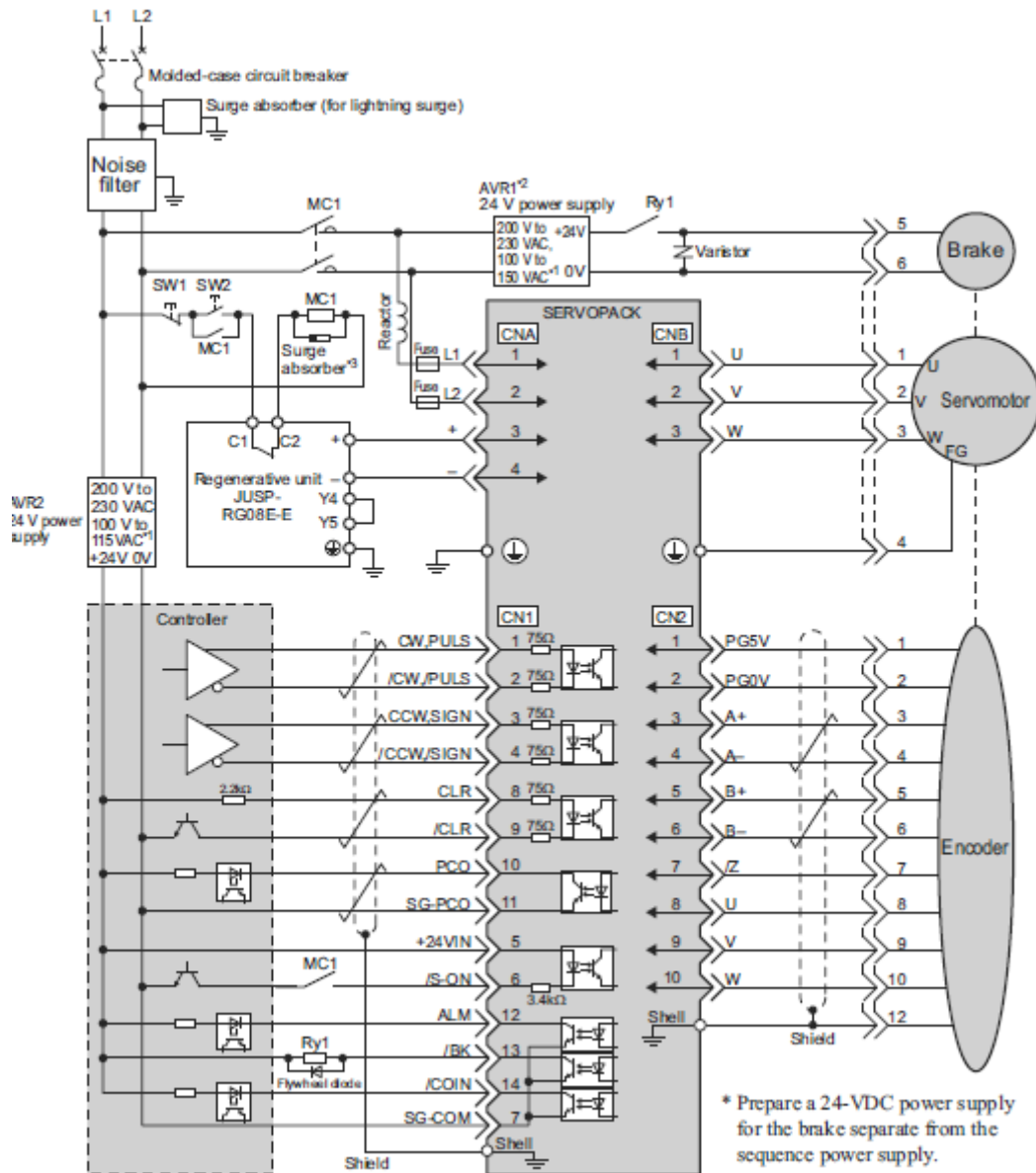
Las conexiones globales del sistema SERVOPACK se encuentran detalladas en la figura 40.

Figura 40 Conexiones globales del sistema



Fuente: <https://www.yaskawa.com/manualjunma>. Consultado 2015/03/25

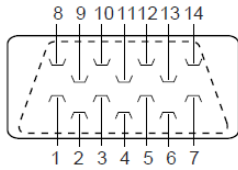
Figura 41 Conexión estándar



Fuente: www.yaskawa.com/manualjunma. Consultado 2015/03/25

Figura 42 Diagrama de conexiones del cable de entradas y salidas.

SERVOPACK Connector (Plug)
(Viewed from soldered side)



Pin No.	I/O	Code	Signal Name	Lead Color	Dot Mark	
					Number	Color
1	Input	CW, PULS	Reverse pulse, Reference pulse	Orange	1	Black
2	Input	/CW, /PULS				Red
3	Input	CCW, SIGN	Forward pulse, Reference sign	Light gray		Black
4	Input	/CCW, /SIGN				Red
5	Input	+24VIN	External input power supply	White		Black
6	Input	/S-ON	Servo ON			Red
7	Output	SG-COM	Output signal ground	Yellow		Black
8	Input	CLR	Position deviation Pulse clear		Pink	Red
9	Input	/CLR		Black		
10	Output	PCO	Phase-C signal	Red		
11	Output	SG-PCO	Phase-C signal ground	Orange	2	Black
12	Output	ALM	Servo alarm			Red
13	Output	/BK	Brake	Light gray	Black	
14	Output	/COIN	Positioning completion		Red	
Shell	-	-	FG	-	-	-

Fuente: Manual Servopack Junma. Consultado 2015/03/30

1.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Se entiende por Controlador Lógico Programable (PLC), o Autómata Programable, a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, cuentas y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc. (Molinari, 2005)

También se le puede definir como una «caja negra» en la que existen unos terminales de entrada a los que se conectarán pulsadores, finales de carrera, fotoceldas, detectores. Unos terminales de salida a los que se conectarán bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas..., de tal forma que la actuación de estos últimos está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado. (Molinari, 2005)

Esto quiere decir que los elementos tradicionales como relés auxiliares, relés de enclavamiento, temporizadores, y contadores son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el “programa”, que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida. (Molinari, 2005)

Figura 43 Variedad de PLC's en el mercado



Fuente: www.siemens.com. Consultado 2015/03/30

1.5.1. Campo de aplicación de los PLC's

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo al de transformaciones industriales, control de instalaciones, entre otros (Molinari, 2005)

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Ejemplos de aplicaciones generales podrían ser los siguientes:

- Industria del mueble y madera.
- En procesos de grava, arena y cemento.
- En la industria del plástico.
- Máquinas- herramientas complejas.
- En procesos textiles y de confección.
- En la industria de automoción. (Molinari, 2005)

1.5.2. PLC Delta DVP20SX2

Es un controlado lógico programable que abarca un rango de entrada-salida de 10-512 puntos de entrada-salida. El PLC puede controlar una amplia variedad de dispositivos para solucionar necesidades de automatización. El PLC monitorea entradas y modifica salidas conforme al control del programa de usuario. El programa de usuario ofrece operaciones de lógica Booleana, conteo,

temporización, operaciones matemáticas complejas y comunicaciones con otros productos. (Delta Electronics, 2008)

Figura 44 PLC Delta DVP20SX2 (Delta Electronics, 2008)



Fuente: propia.

1.5.3. Registros y Relés de PLC

Dispositivos internos básicos de un PLC:

X (Relé de entrada): La memoria de bits representa los puntos de entrada físicos y recibe señales de entrada externa.

Indicación del dispositivo: Indicado como X y enumerado en octal, por ejemplo X0~X7, X10~X17...X377. (Delta Electronics, 2008)

Y (Relé de salida): La memoria de bits representa los puntos de salida físicos y guarda el estado para que sea actualizado para dispositivos de salida física.

Indicación del dispositivo: Indicado como Y y enumerado en octal, por ejemplo Y0~Y7, Y10~Y17...Y377. (Delta Electronics, 2008)

M (Relé interno): La memoria de bits indica el estado actual del PLC.

Indicación del dispositivo: Indicado como M y numerado en decimales, por ejemplo M0, M1, M2...M4095. (Delta Electronics, 2008)

S (Relé de escalera): La memoria de bits indica el estado del PLC en modo de Control de función secuencial (SFC). Si la instrucción STL se aplica en el programa, el punto escalonado S puede ser usado como relé interno M y también como un anunciador.

Indicación del dispositivo: Indicado como S y numerado en decimales, por ejemplo S0, S1, S2...S1023. (Delta Electronics, 2008)

T (Relé palabra, Dpalabra): Memoria de bits, palabra o doble palabra usada para temporización y tiene bobina, contacto y registro en ella. Cuando su bobina está ON y se alcanza el tiempo de activación, el contacto asociado se energizará. Cada temporizador tiene su resolución (unidad: 1ms/10ms/100ms). (Delta Electronics, 2008)

Indicación del dispositivo: Indicado como T y numerado en decimales, por ejemplo T0, T1, T2...T255

C (Contador, Relé, palabra, Dpalabra): Memoria de bits, palabra o doble palabra usada para contar y tiene bobina, contacto y registro en ella. El

contador cuenta una vez (1 pulso) cuando la bobina pasa de OFF a ON.

Cuando se alcanza el valor predeterminado del contador, el contacto asociado se energizará. Hay contadores de alta velocidad de 16 bits y 32 bits disponibles para los usuarios. (Delta Electronics, 2008)

Indicación del dispositivo: Indicado como C y numerado en decimales, por ejemplo C0, C1, C2...C255.

D (Registro de datos, palabra): La memoria de palabra almacena valores y parámetros para operaciones de datos. Cada registro puede almacenar una palabra (valor binario de 16 bits). Una doble palabra ocupará 2 registros de datos consecutivos. (Delta Electronics, 2008)

Indicación del dispositivo: Indicado como D y numerado en decimales, por ejemplo D0, D1, D2...D4999.

E, F (Registro, índice, palabra): Memoria de palabra usada como modificador para indicar un dispositivo específico (palabra y doble palabra) por medio de la definición de un desplazamiento. Los registros índice que no se usan como modificadores se pueden usar como registros de uso general.

Indicación del dispositivo: Indicado como E0 ~ E7 y F0 ~ F7. (Delta Electronics, 2008)

1.5.4. Símbolos de lógica de escalera

Figura 45 Estructura del diagrama de escalera (Delta Electronics, 2008)

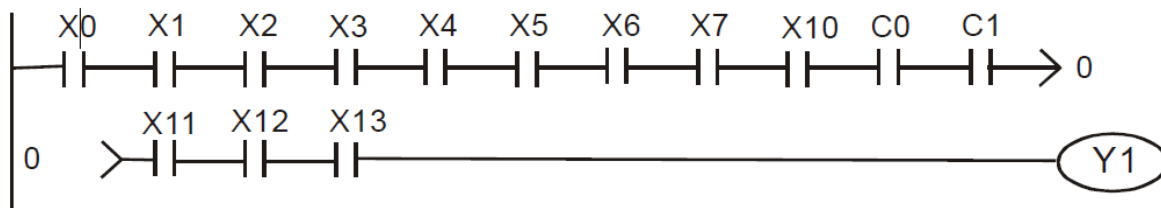
Estructura del diagrama de escalera	Explicación	Instrucción	Dispositivos disponibles
	Contacto NO (normalmente abierto) / contacto A	LD	X, Y, M, S, T, C
	Contacto NC (normalmente cerrado) / contacto B	LDI	X, Y, M, S, T, C
	Contacto NO en serie	AND	X, Y, M, S, T, C
	Contacto NC en serie	ANI	X, Y, M, S, T, C
	Contacto NO en paralelo	OR	X, Y, M, S, T, C
	Contacto NC en paralelo	ORI	X, Y, M, S, T, C
	Interruptor de disparo de flanco ascendente	LDP	X, Y, M, S, T, C
	Interruptor de disparo de flanco descendente	LDF	X, Y, M, S, T, C
	Disparador de flanco ascendente en serie	ANDP	X, Y, M, S, T, C
	Disparador de flanco descendente en serie	ANDF	X, Y, M, S, T, C
	Disparador de flanco ascendente en paralelo	ORP	X, Y, M, S, T, C
	Bloque en serie	ANB	Ninguno
	Bloque en paralelo	ORB	Ninguno
	Múltiples bifurcaciones de salida	MPS MRD MPP	Ninguno
	Bobina de salida	OUT	Y, M, S
	Escalera	STL	S
	Instrucción básica / de aplicación	-	Instrucciones básicas e instrucciones de API. Por favor consulte el Conjunto de instrucciones del capítulo 3
	Lógica inversa	INV	Ninguno

Fuente: Manual Delta www.delta.com.tw/industrialautomation. Consultado 2015/03/30

1.5.5. Creación de un programa de escalera de PLC.

La edición del programa debe iniciar desde la línea bus del lado izquierdo hacia la línea bus del lado derecho, y de arriba hacia abajo. Sin embargo, la línea bus del lado derecho se omite cuando se está editando en WPLSoft 2.20. Una sola fila puede tener un máximo de 11 contactos en ella. Si hay más de 11 contactos conectados, se generará automáticamente un símbolo continuo "0" y el contacto 12 se colocará en el inicio de la siguiente fila. Los mismos puntos de entrada se pueden usar repetidamente. (Delta Electronics, 2008)

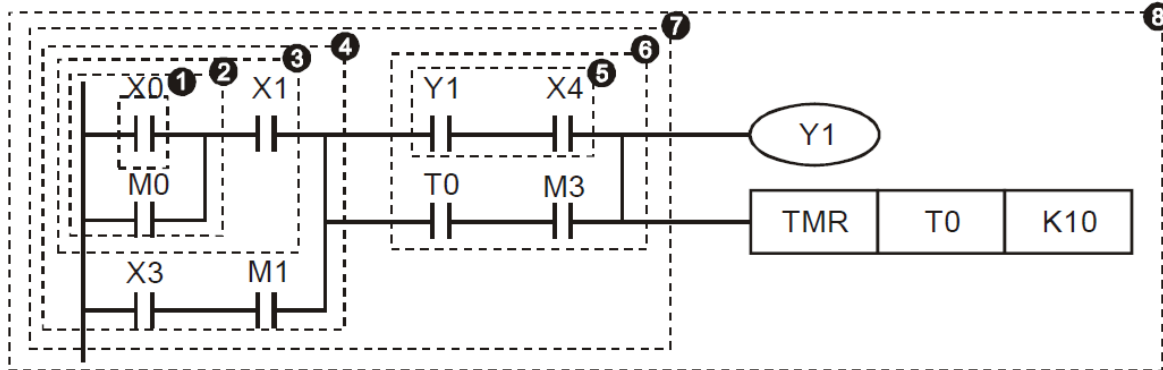
Figura 46 Continuación contacto 12.



Fuente: Manual delta www.delta.com.tw/industrialautomation. Consultado 2015/03/30

Al momento de evaluar el programa de usuario, la exploración del PLC inicia de izquierda a derecha y procede a la siguiente fila hasta que el PLC llega a la instrucción FIN. Las bobinas de salida e instrucciones básicas / de aplicación pertenecen al proceso de salida y se colocan a la derecha del diagrama de escalera. (Delta Electronics, 2008)

Figura 47 Programa de muestra.



Fuente: www.delta.com.tw/industrialautomation. Consultado 2015/03/30

1.6 PANTALLA HMI

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas. (Cobo, 2010)

1.6.1 Tipos de pantalla HMI

Descontando el método tradicional, podemos distinguir básicamente dos tipos de HMI: (Cobo, 2010)

- **Terminal de operador:** consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen). (Cobo, 2010)
- **PC + software:** PC + Software, esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador, y en general veremos muchas formas de hacer un PC, pasando por el tradicional PC de escritorio. Respecto a los softwares a instalar en el PC de modo de cumplir la función de HMI hablamos a continuación. (Cobo, 2010)

1.6.2 Software HMI

Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interface gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales. También es normal que dispongan de muchas más herramientas. (Cobo, 2010)

Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego

debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time). (Cobo, 2010).

Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos (proceso) o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación, cual es la tendencia actual. (Cobo, 2010).

1.6.3. Comunicación

La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante comunicación de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en los PCs. (Cobo, 2010)

Actualmente para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes. La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (Ole for Process Control), por lo que contamos entonces con Servidores y Clientes OPC, sin embargo aún quedan algunas instalaciones donde se usaba DDE para este propósito, como también muchos softwares de aplicación sólo son clientes DDE por lo que lo usual es que los servidores sean OPC y DDE. (Cobo, 2010).

1.7. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

1.7.1. Protocolo de comunicación RS-232

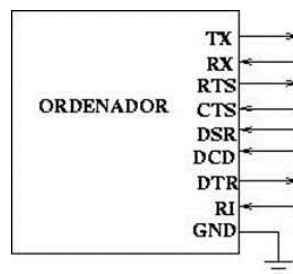
El protocolo RS-232 es una norma o estándar mundial que rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial. Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, la forma de control que utiliza dicha transferencia, los niveles de voltajes utilizados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos, los conectores, etc.

Además de las líneas de transmisión (Tx) y recepción (Rx), las comunicaciones seriales poseen otras líneas de control de flujo (Hands-hake), donde su uso es opcional dependiendo del dispositivo a conectar.

A nivel de software, la configuración principal que se debe dar a una conexión a través de puertos seriales. RS-232 es básicamente la selección de la velocidad en baudios (1200, 2400, 4800, etc.), la verificación de datos o paridad (parida par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato(1 ó 2), y la cantidad de bits por dato (7 ó 8), que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado.

La Norma RS-232 fue definida para conectar un ordenador a un modem. Además de transmitirse los datos de una forma serie asíncrona son necesarias una serie de señales adicionales, que se definen en la norma. Las tensiones empleadas están comprendidas entre +15/-15 voltios. (D.E.G, 2014)

Figura 48 Puerta serial full

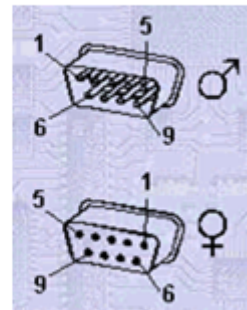


Fuente: <http://juandeg.tripod.com/rs232.htm>. Consultado 2015/04/05

La siguiente figura muestra el conector de 9 pines serie que se encuentra en la mayoría de las PC de hoy en día.

Figura 49 Conector DB9

SIGNAL	PIN No.
Carrier Detect	1
Receive Data	2
Transmit Data	3
Data Terminal Ready	4
Signal Ground	5
Data Set Ready	6
Request To Send	7
Clear To Send	8
Ring Indicator	9



Fuente: <http://juandeg.tripod.com/rs232.htm>. Consultado 2015/04/06

- **Request To Send (RTS):** Esta señal se envía de la computadora (DTE) al módem (DCE) para indicar que se quieren transmitir datos. Si el módem decide que esta OK, asiente por la línea CTS. Una vez la computadora prende la señal RTS, esperará que el módem asiente la línea CTS. Cuando la señal CTS es afirmado por el módem, la computadora empezará a transmitir datos.
- **Clear To Send (CTS):** Afirmado por el módem después de recibir la señal de RTS indica que la computadora puede transmitir.
- **Data Terminal Ready (DTR):** Esta línea de señal es afirmada por la computadora, e informa al módem que la computadora está lista para recibir datos.

- **Data Set Ready (DSR):** Esta línea de señal es afirmada por el módem en respuesta a una señal de DTR de la computadora. La computadora supervisa el estado de esta línea después de afirmar DTR para descubrir si el módem está encendido.
- **Receive Signal Line Detect (RSLD):** Esta línea de control es afirmada por el módem e informa a la computadora que se ha establecido una conexión física con otro módem. A veces se conoce como detector de portadora (CD). Sería un error que una computadora transmita información a un módem si esta línea no está prendida, es decir si la conexión física no funciona.
- **Transmit Data (TD):** es la línea por donde el dato se transmite de un bit a la vez
- **Receive Data (RD):** es la línea por donde el dato se recibe de un bit a la vez.

1.7.2. Protocolo de comunicación RS-485

Cuando se necesita transmitir a largas distancias o con más altas velocidades que RS-232, RS-485 es la solución. Utilizando enlaces con RS-485 no hay limitación a conectar tan solo dos dispositivos.

Dependiendo de la distancia, velocidad de transmisión y los circuitos integrados que utilicemos, se pueden conectar hasta 32 nodos con un simple par de cables.

Esta interfase tiene muchas ventajas con respecto a RS 232, entre las cuales se mencionan:

- Los Circuitos Integrados para transmitir y recibir son baratos y solo requieren una fuente de +5V para poder generar una diferencia mínima de 1.5v entre

las salidas diferenciales. En contraste con RS-232 que en algunos casos requiere de fuentes dobles para alimentar algunos circuitos integrados.

- RS-485 es una interfase multi-enlace con la capacidad de poder tener múltiples transmisores y receptores. Con una alta impedancia receptora, los enlaces con RS-485 pueden llegar a tener a lo máximo hasta 256 nodos.
- En un enlace RS-485 puede tener hasta 4000 pies de longitud, comparado con RS-232 que tiene unos límites típicos de 50 a 100 pies.
- La razón de bits puede ser tan alta como 10 Mega bits/ segundo.

La razón por la que RS-485 puede transmitir a largas distancias, es porque utiliza el balanceo de líneas. Cada señal tiene dedicados un par de cables, sobre uno de ellos se encontrará un voltaje y en el otro se estará su complemento, de esta forma, el receptor responde a la diferencia entre voltajes. (Pérez, S.F)

Figura 50 Línea no balanceada



Fuente: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/rs-485.pdf>. Consultado 2015/04/06

En cuanto a las líneas balanceadas (Figura 43) la RS-485 designa a estas dos líneas como A y B. En el controlador TX, una entrada alta TTL causa que la línea A sea más positiva (+) que la línea B, mientras que un bajo en lógica TTL causa que la línea B sea más positiva (+) que la línea A. Por otra parte en el controlador de recepción RX, si la entrada A es más positiva que la entrada B, la salida lógica TTL será "1" y si la entrada B es más (+) que la entrada A, la salida lógica TTL será un "0".

Figura 51 Línea balanceada



Fuente: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/rs-485.pdf>. Consultado 2015/04/06

Las interfases típicas RS-485 utilizan una fuente de +5 Volts, pero los niveles lógicos de los transmisores y receptores no operan a niveles estándares de +5V o voltajes lógicos CMOS. Para una salida válida, la diferencia entre las salidas A y B debe ser al menos +1.5V. Si la interfase está perfectamente balanceada, las salidas estarán desfasadas igualmente a un medio de la fuente de Voltaje. En el receptor RS-485, la diferencia de voltaje entre las entradas A y B necesita ser 0.2V. Si A es al menos 0.2V más positiva que B, el receptor ve un 1 lógico y si B es al menos 0.2V más positiva que A, el receptor ve un 0 lógico. Si la diferencia entre A y B es menor a 0.2V, el nivel lógico es indefinido. Si esto ocurre habría un error en la transmisión y recepción de la información.

La diferencia entre los requerimientos del Transmisor y el Receptor pueden tener un margen de ruido de 1.3V. La señal diferencial puede atenuarse o tener picos de largo como de 1.3v, y aun así el receptor vera el nivel lógico correcto.

El margen de ruido es menor que el de un enlace RS-232, no hay que olvidar que RS-485 maneja señales diferenciales y que cancela la mayoría del ruido a través de su enlace. El total de corriente utilizada por un enlace RS-485 puede variar debido a las impedancias de los componentes, incluyendo los transmisores, receptores, cables y la terminación de los componentes.

Una baja impedancia a la salida del Transmisor y una baja impedancia en los cables, facilitan los cambios de nivel y asegura que el receptor vea la señal, no importa cuán larga sea la línea de transmisión.

Una alta impedancia en el receptor decremента la corriente en el enlace e incrementa la vida de la fuentes de voltaje. La terminación de los componentes, cuando se utiliza tiene un gran efecto sobre la corriente en el enlace.

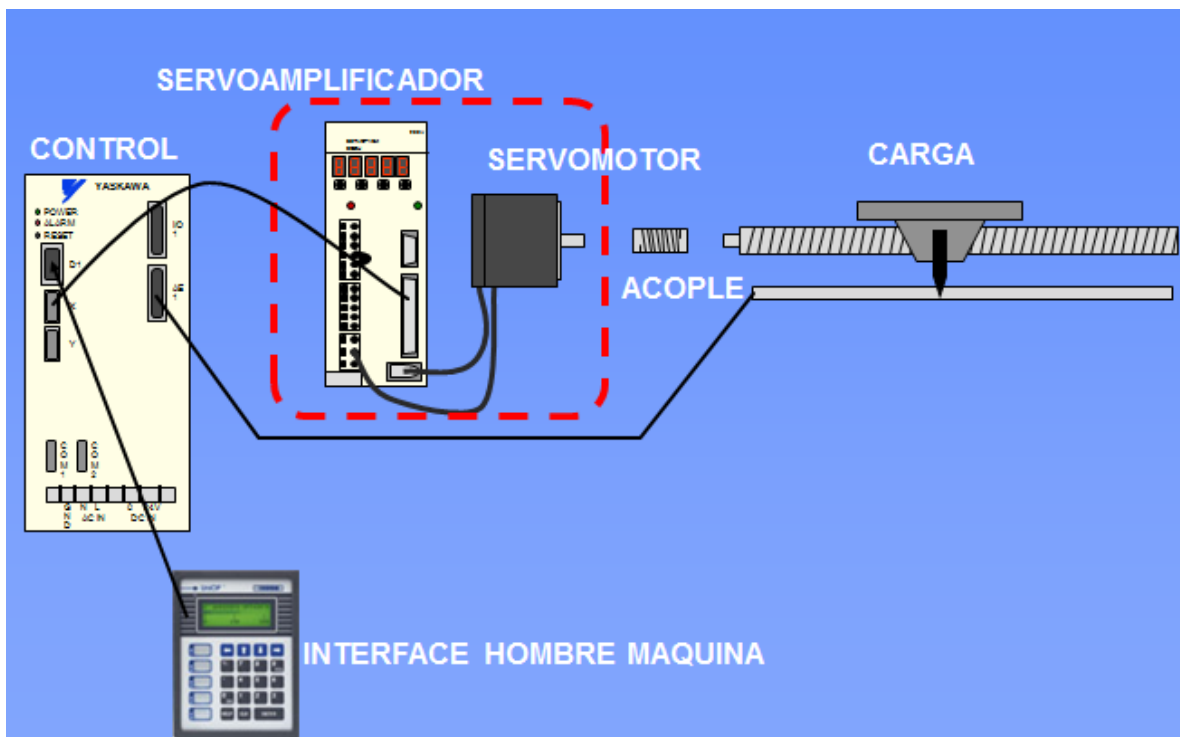
Muchos enlaces con RS-485 tienen una resistencia de 120 ohms a través de las líneas A y B en cada extremo de la línea. Por lo tanto cada, enlace tiene dos terminales. (Pérez, S.F)

2. METODOLOGÍA

2.1. IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO SERVOMOTOR

El modulo servomotor está constituido por un servomotor de 100W marca yaskawa, un servodrive de 100W marca Junma, un encoder marca Autonix de 600 pulsos, un PLC marca Delta referencia DVP20SX2 y una pantalla HMI referencia DOP-B03S211 marca Delta.

Figura 52 Partes del servosistema (Servomotor, 2013)



Fuente: <https://www.yaskawa.com/>. Consultado 2015/03/30

2.1.1. Desarrollo de las prácticas

En la implementación del módulo servomotor se desarrollaron unas prácticas mediante un software de cálculo especializado llamado (WPLSoft 2.20), los cálculos de velocidad, torque máximo, continuidad de torque, RMS de torque, comparación de inercia y capacidad de regeneración como factores más importantes.

El módulo servomotor es alimentado a 220 VCA, con una protección de 2x20A y permite una interacción hombre maquina a través de la pantalla HMI. Pantalla y el servodrive utilizando un protocolo de comunicación RS-323. El PLC consta de ocho salidas y ocho entradas de 0.0 a 0.7 análogas.

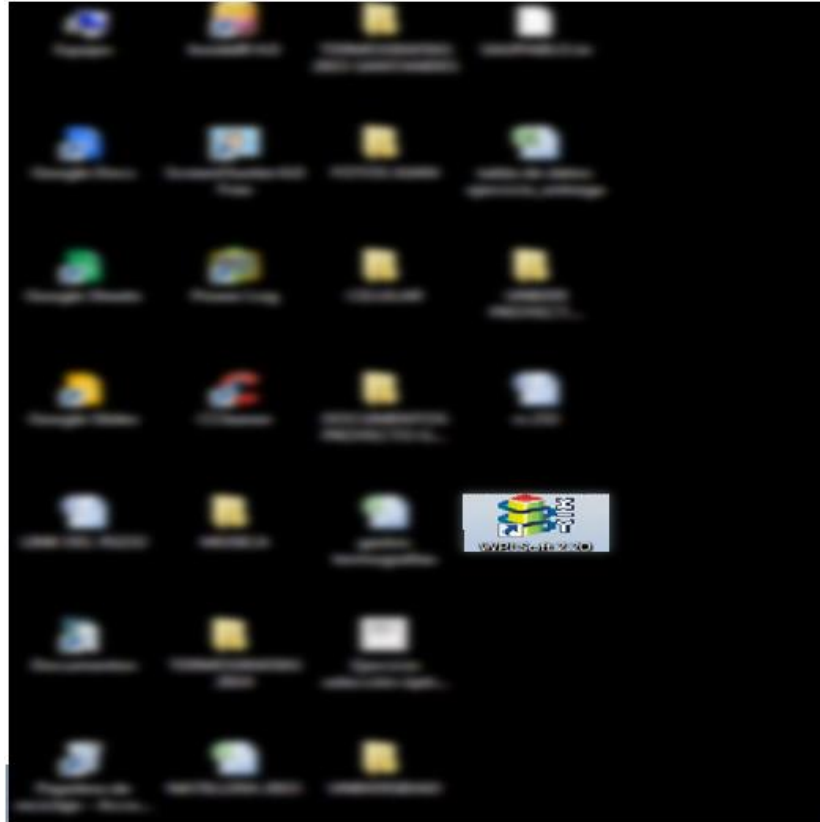
2.1.2. Verificación de variables de entrada y salida del PLC delta DVP20SX2.

Para la configuración de los diferentes movimientos y aplicaciones que se pueden desarrollar en el servomotor YASKAWA se tienen varias herramientas tecnológicas con interface de comunicación mediante protocolos RS-232.

Las prácticas implementadas en el módulo servomotor se desarrollaron con el software WPLSoft 2.20.

Después de instalado el software en el PC, se procede abrir el programa dando doble clic en el icono WPLSoft 2.20 desde el acceso directo del escritorio del PC.

Figura 53 Acceso a WPLSoft 2.20

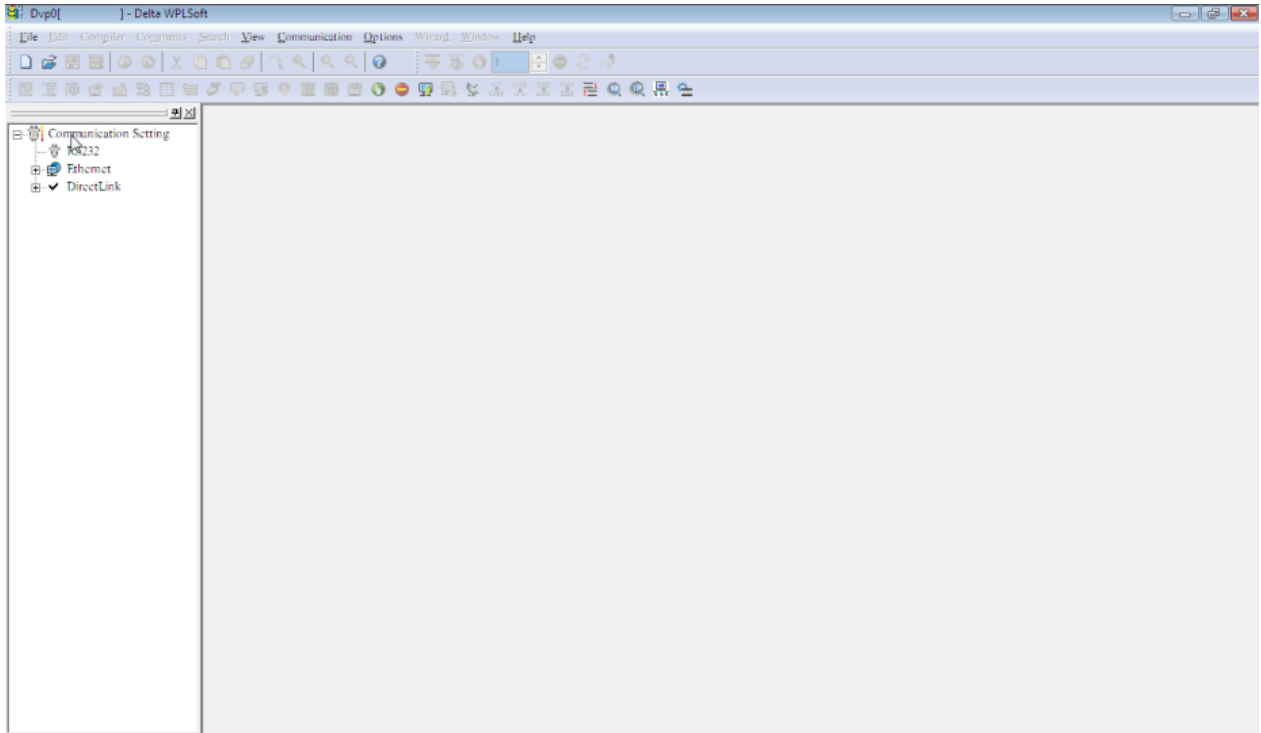


Fuente: Propia

En esta práctica se explicará desde la configuración de la comunicación entre el PLC y el PC, se dará un derrotero del paso a paso y se expondrá el funcionamiento de las entradas en un programa sencillo que dará al estudiante un breve viaje al mundo de la programación y utilización de los servomotores y la aplicación en la industria.

Cuando el software cargue se visualizará esta pantalla, y se podrá proceder a la parametrización.

Figura 54 Pantalla de inicio a WPLSoft 2.20

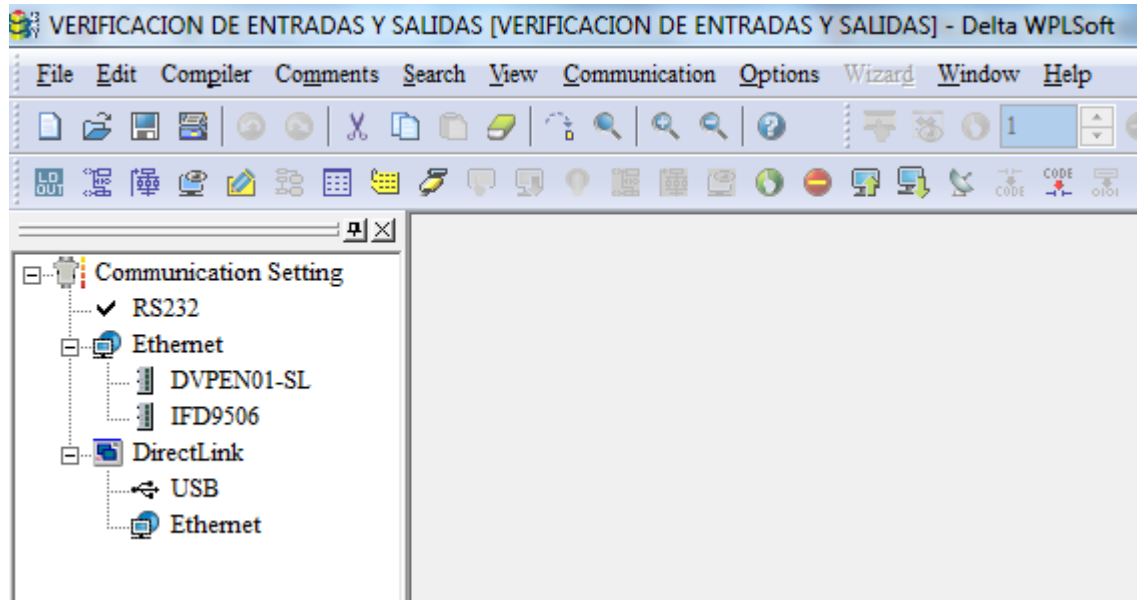


Fuente: Propia

Para el siguiente paso se deben tener ya descargados los driver para establecer la comunicación, ya sea por protocolo (RS 232 o 485).

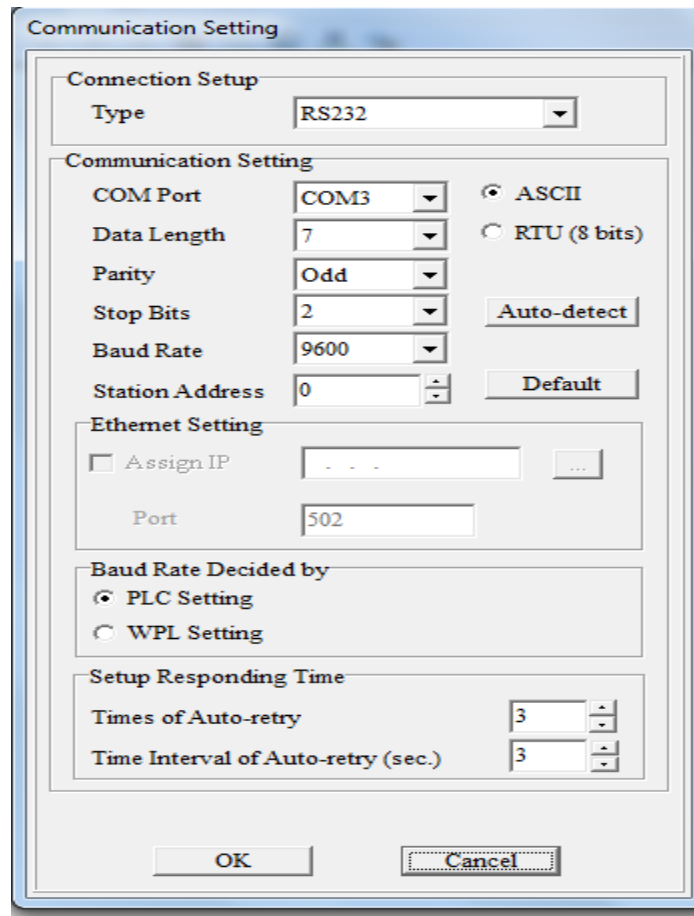
Por defecto encuentra el puerto donde se localiza configurada la interface, el cual es normalmente RS 232 como lo muestra la siguiente figura.

Figura 55 Configuración de comunicación



Fuente: Propia

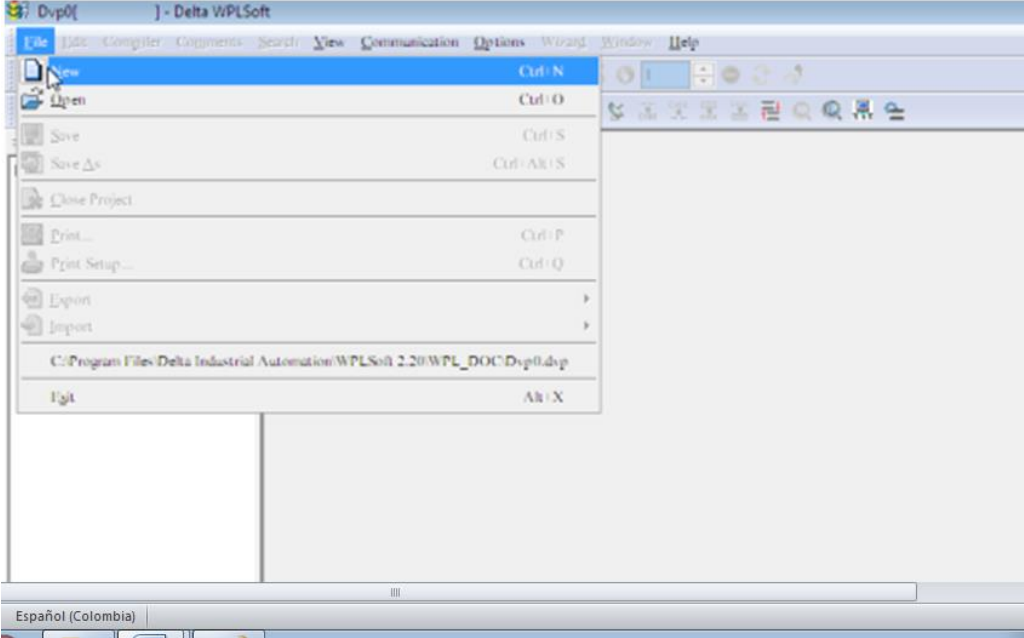
Figura 56 Comunicación



Fuente: Propia

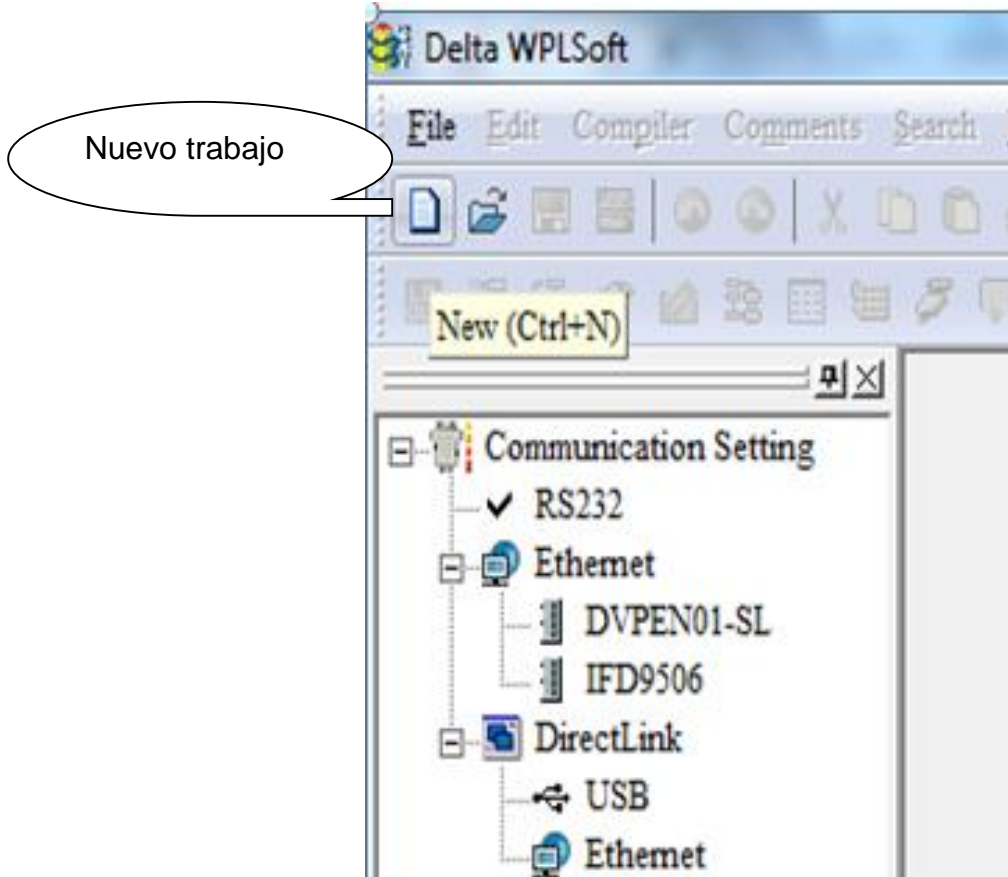
Una vez configurado el puerto de la interface, daremos inicio a un nuevo programa para la verificación de las entradas del PLC, con un diagrama ladder (escalera), que nos permita verificar que el estado de las entradas está correcto.

Figura 57 Nuevo proyecto



Fuente: Propia

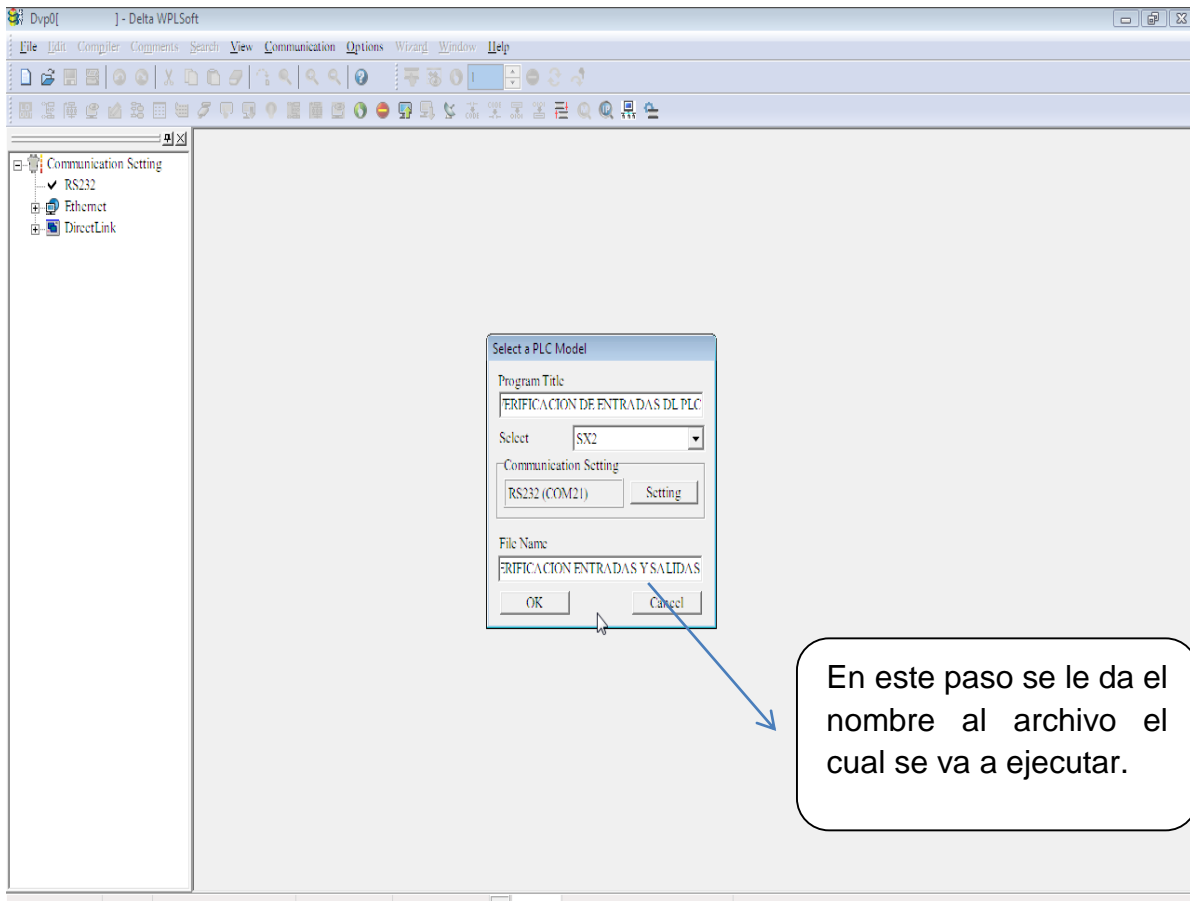
Figura 58 Nuevo trabajo



Fuente: Propia

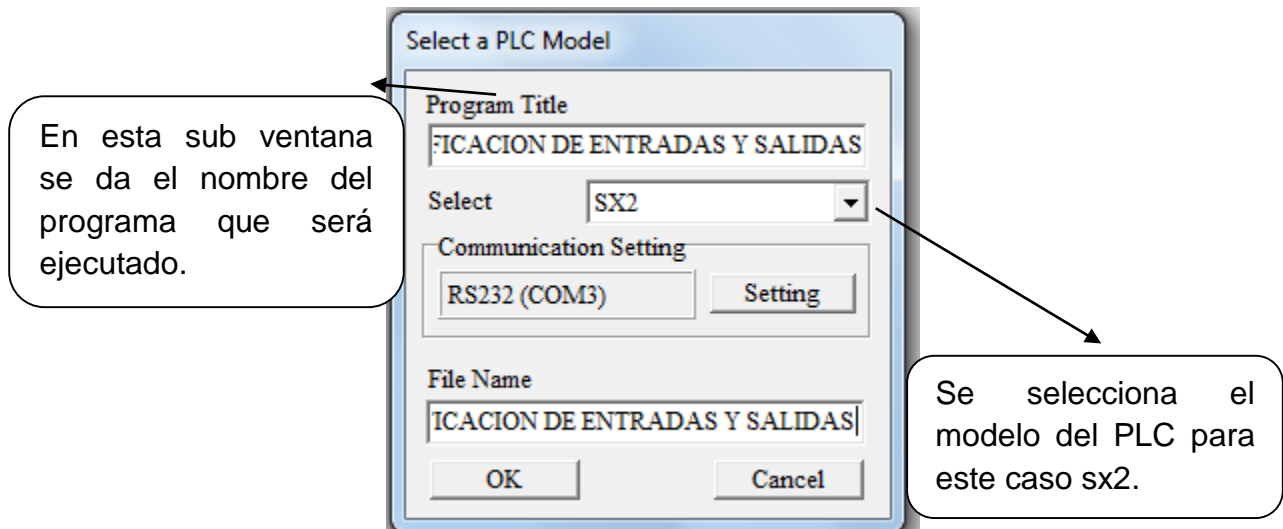
En este paso estamos dando la instrucción para la creación de un nuevo programa.

Figura 59 Seleccionar modelo del PLC



Fuente: Propia

Figura 60 Paso específico a seleccionar modelo de PLC

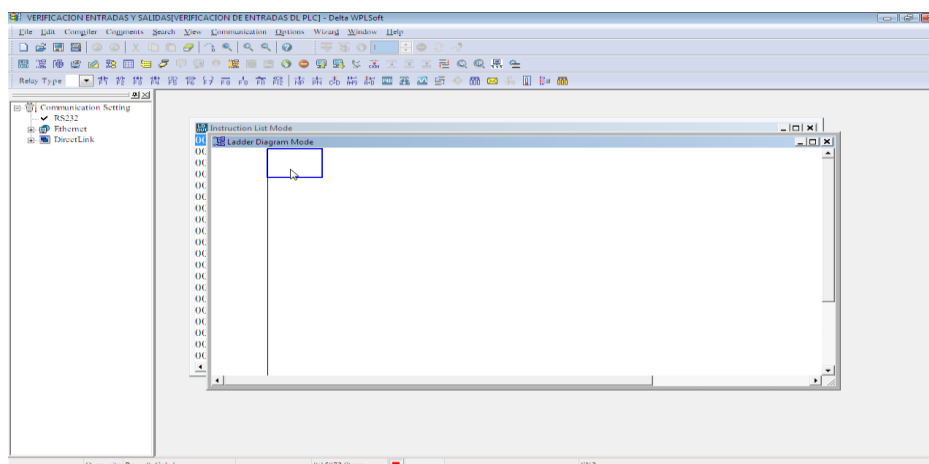


Fuente: Propia

Una vez hecho este procedimiento se presiona la tecla entrar o clic en aceptar.

A continuación el programa conduce automáticamente al área de trabajo, lugar en el cual se puede desarrollar el proyecto deseado.

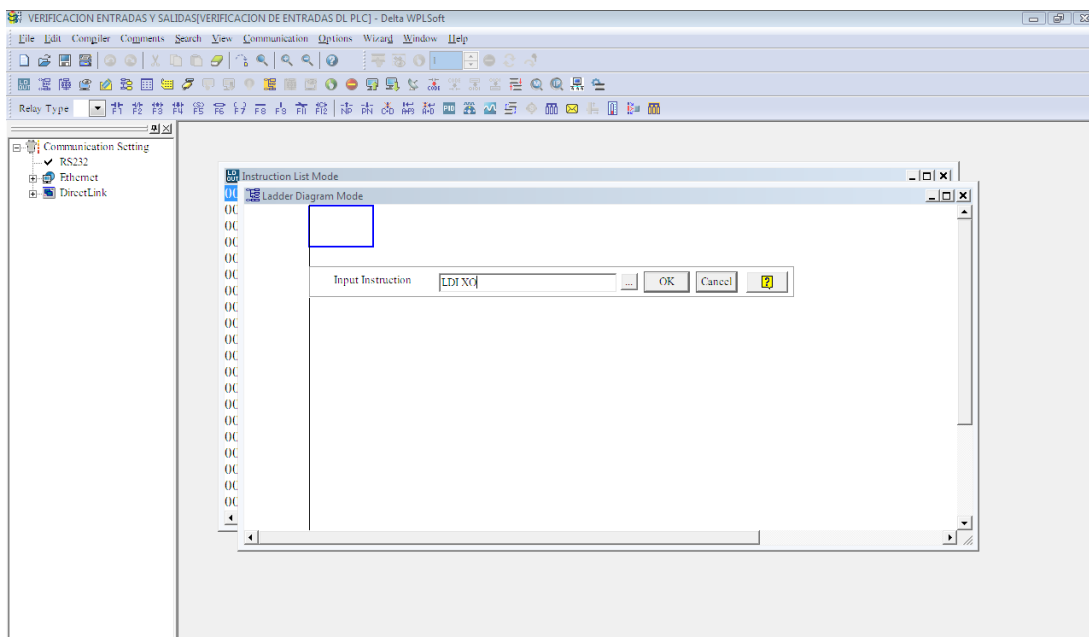
Figura 61 Área de trabajo del nuevo proyecto



Fuente: Propia

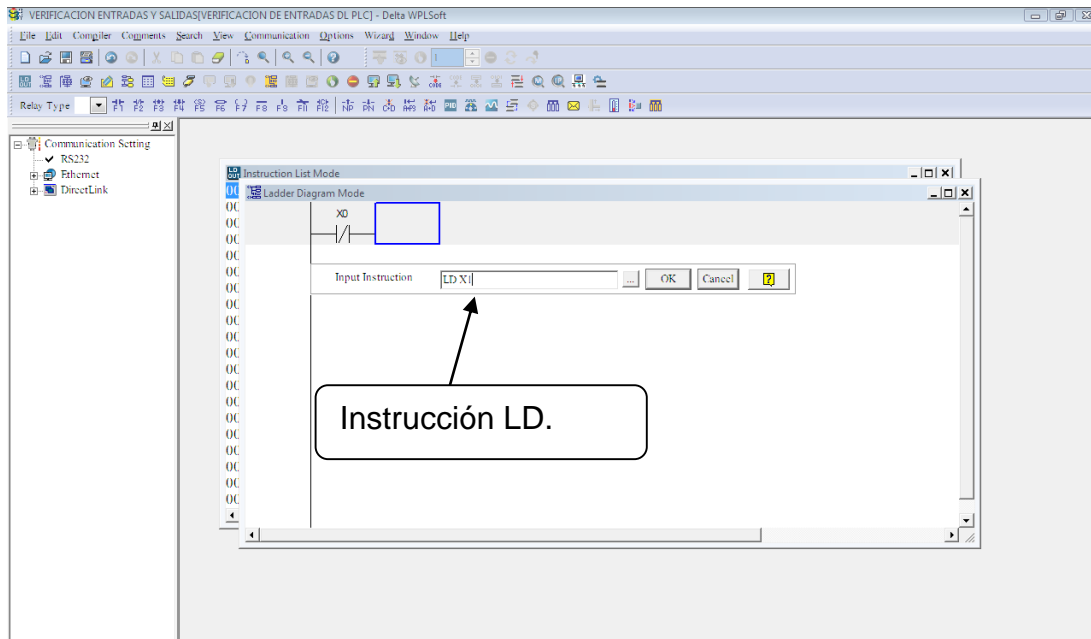
Ahora daremos las instrucciones de un programa sencillo, el cual se recomienda antes de realizar cualquier tipo de práctica. Este consiste en crear un programa en el que se usen todas las entradas y salidas análogas que tiene el módulo para verificar el correcto funcionamiento de las mismas.

Figura 62 Área de instrucciones



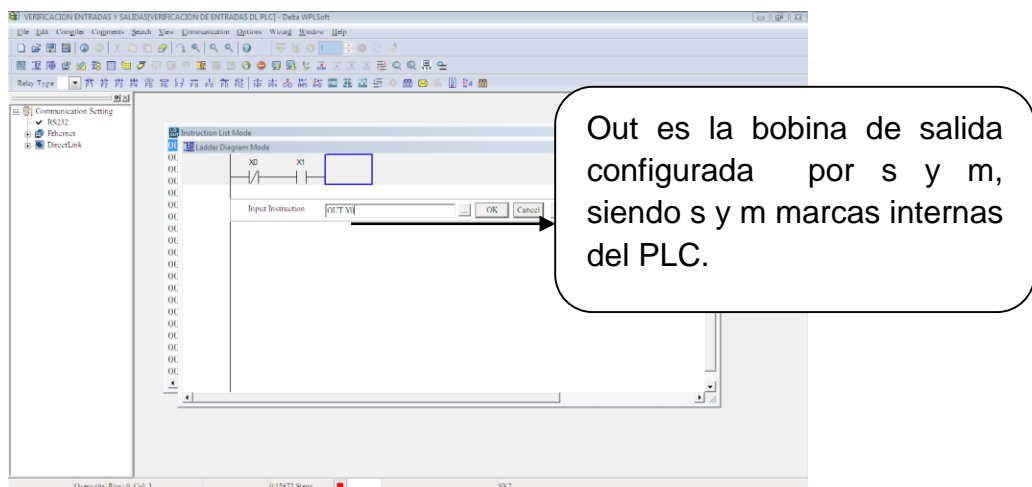
Fuente: Propia

Figura 63 Instrucción LD



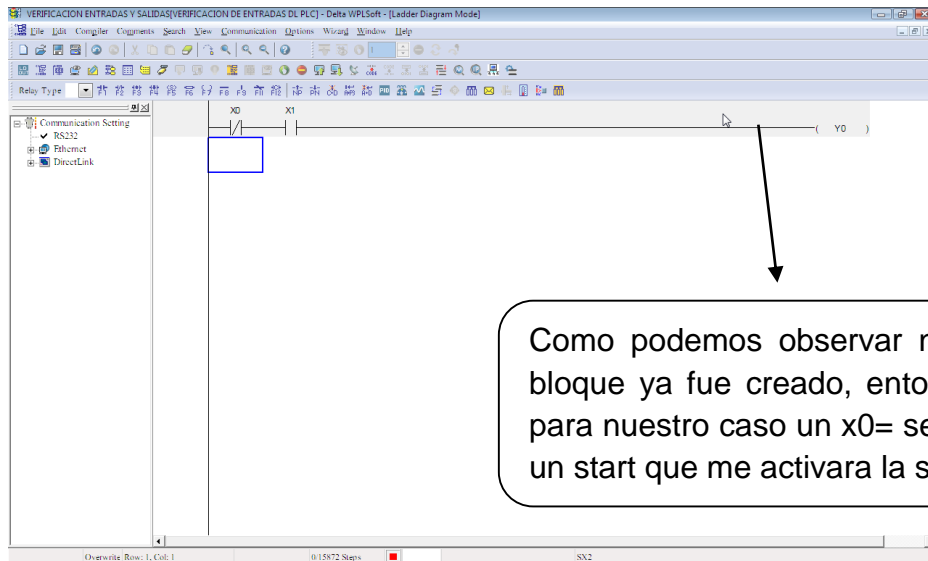
Fuente: Propia

Figura 64 Instrucción OUT



Fuente: Propia

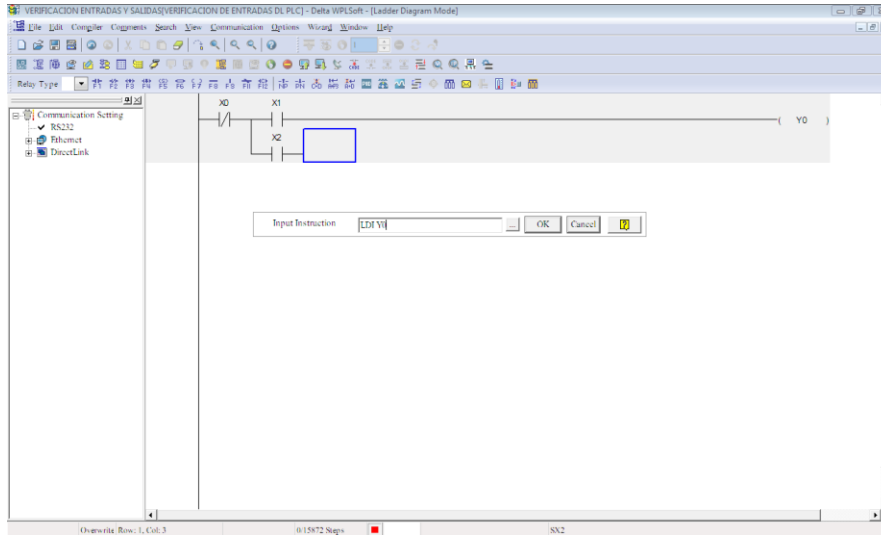
Figura 65 Bloque creado



Fuente: Propia

Traemos un contacto de y0 para hacer una retención con la siguiente bobina, a la que le daremos la instrucción de que sea un sentido de giro inverso o cuando esta esté funcionado, la y0 debe estar apagada y viceversa quedando de la siguiente manera.

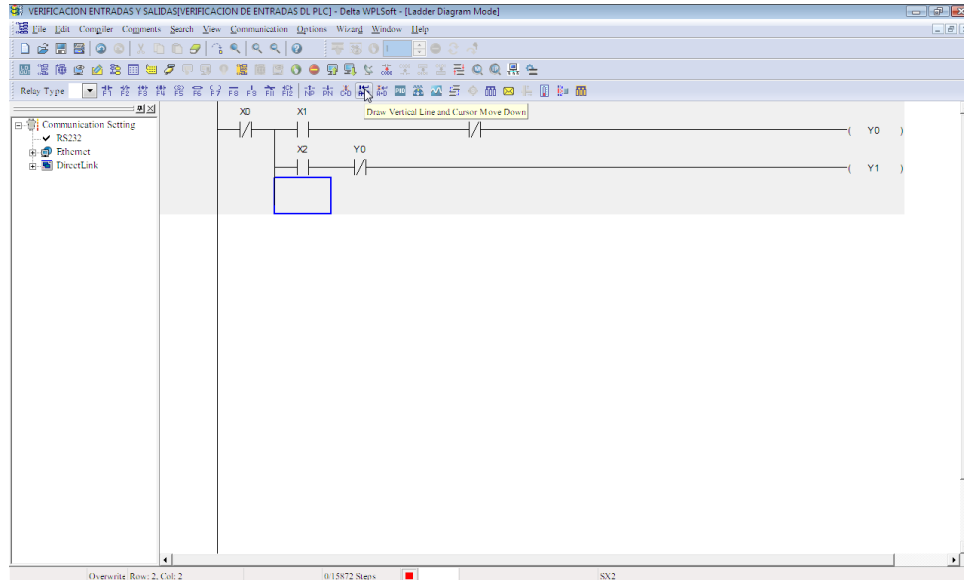
Figura 66 Contacto Y0



Fuente Propia

En adelante solo son entradas y salidas dependiendo de la lógica de programación que se requiera. Para nuestro caso es verificación de entradas y salidas.

Figura 67 Entradas y salidas

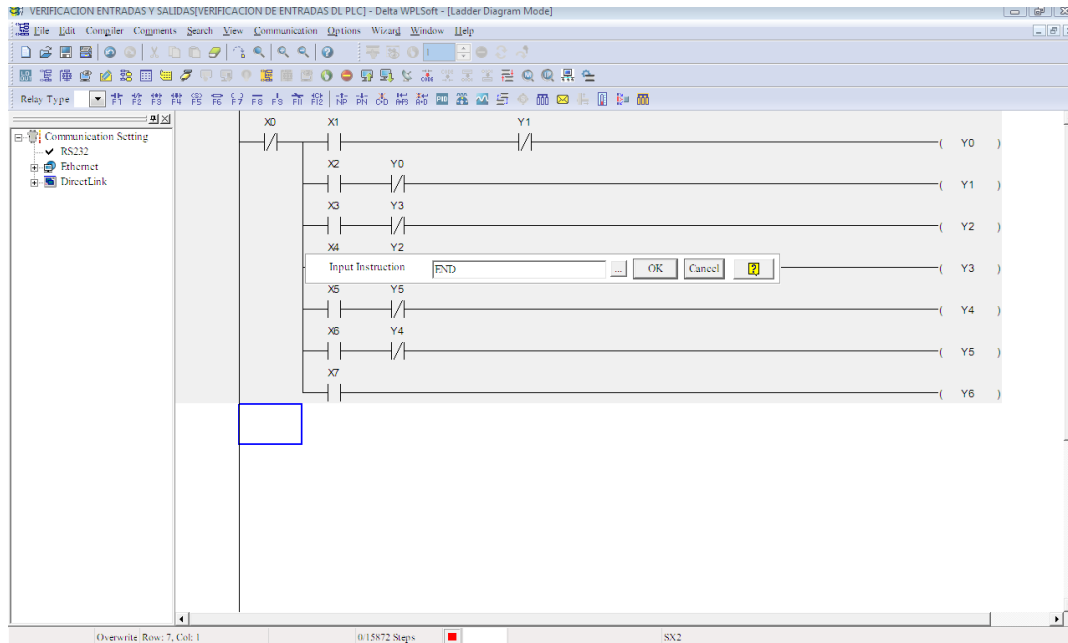


Fuente: Propia

Una vez terminado el programa le daremos finalización a la lista de instrucciones con "final end".

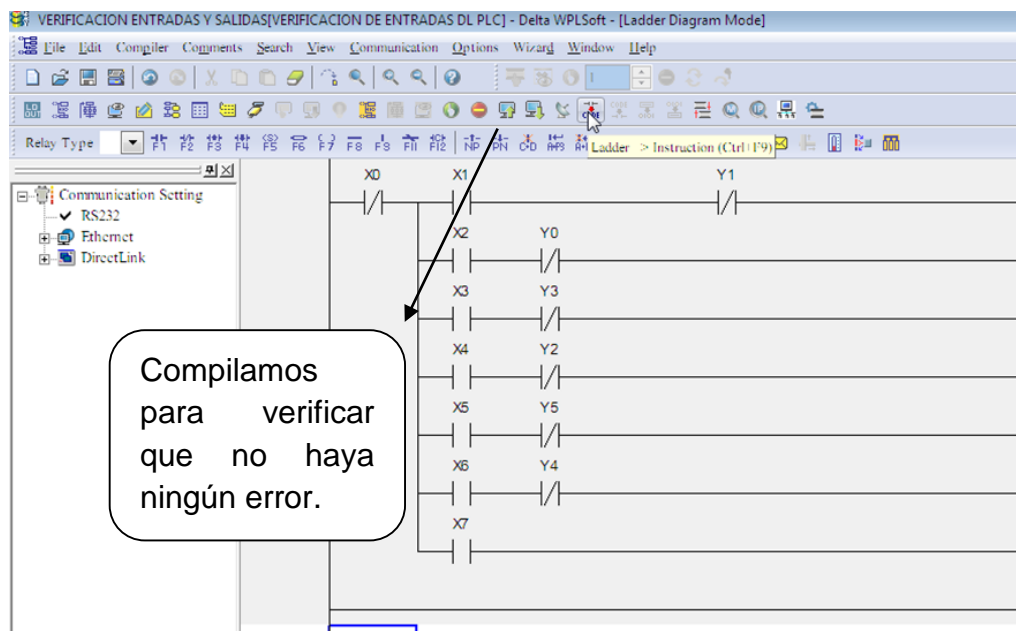
Ya está listo para correrlo en el PLC y verificar entradas y salidas.

Figura 68 Instrucción END



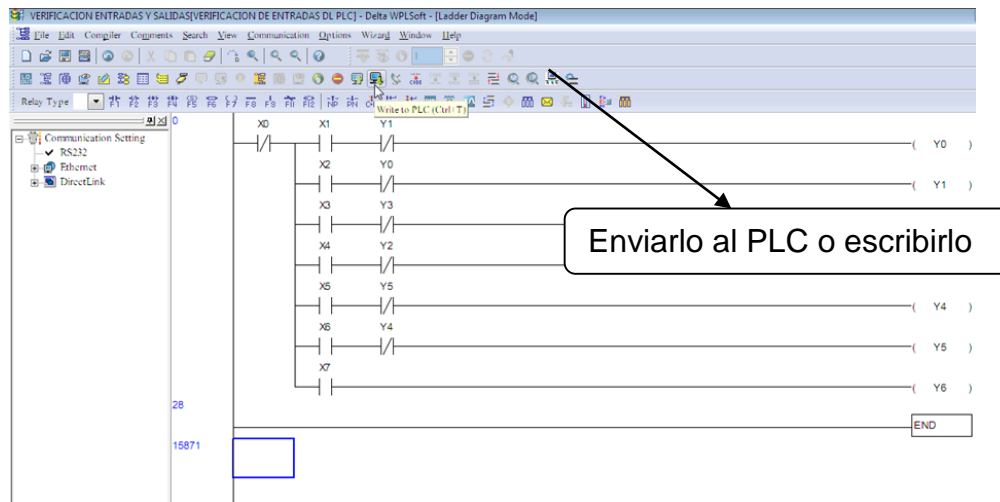
Fuente: Propia

Figura 69 Compilar



Fuente: Propia

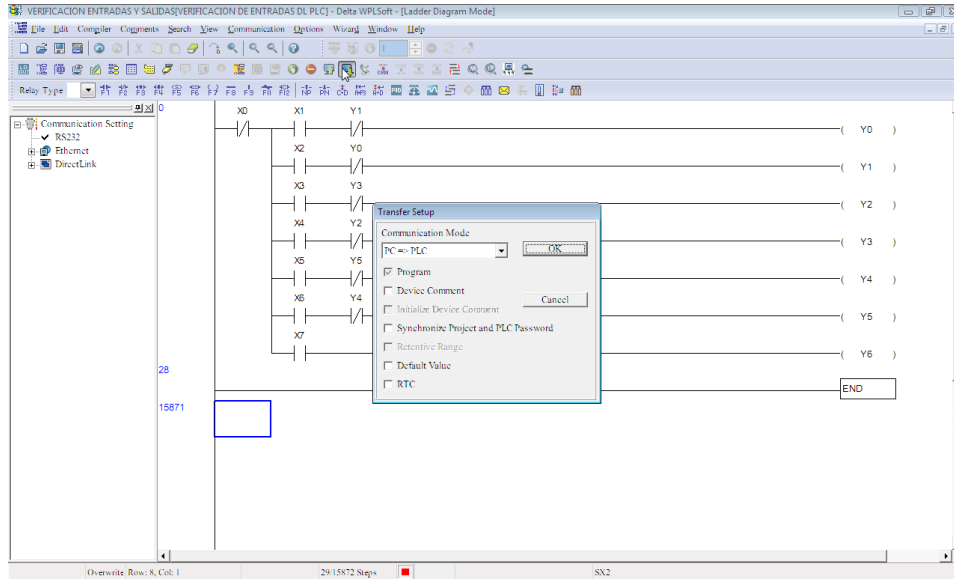
Figura 70 Enviar a PLC



Fuente: Propia

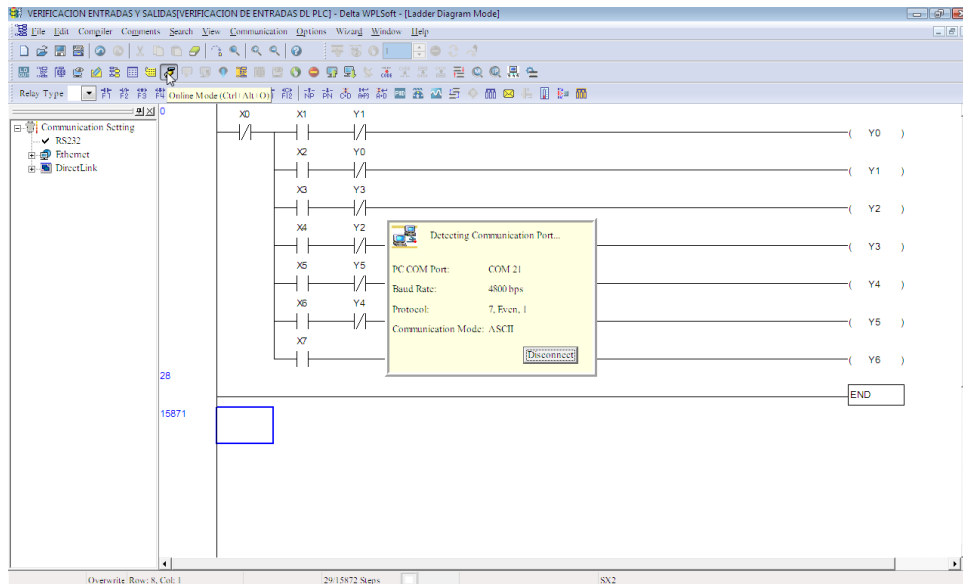
Hecho esto le damos ENTER y empezamos a correr el programa.

Figura 71 Correr Programa



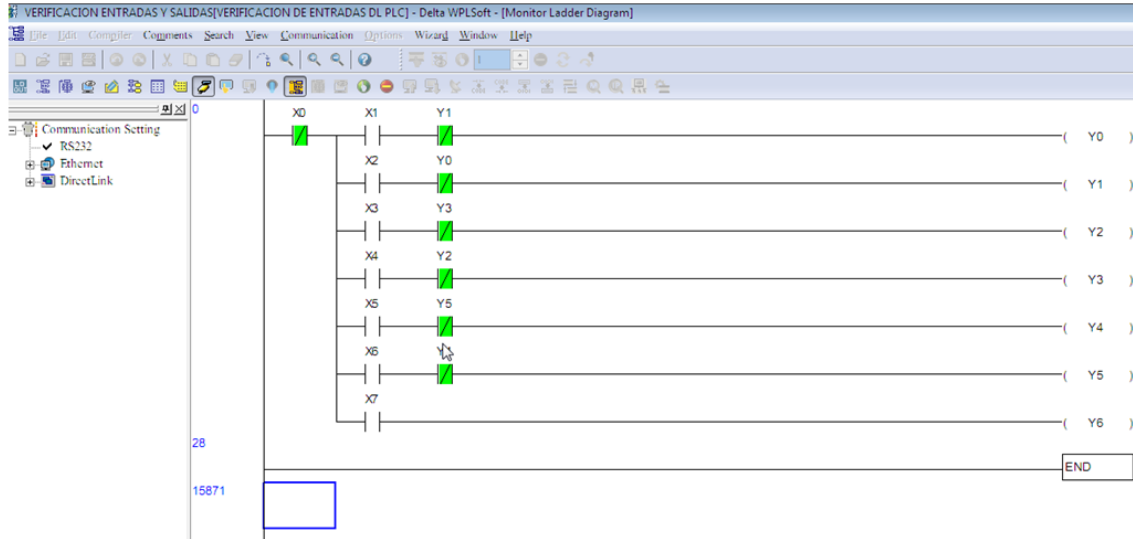
Fuente: Propia

Figura 72 Cargando



Fuente: Propia

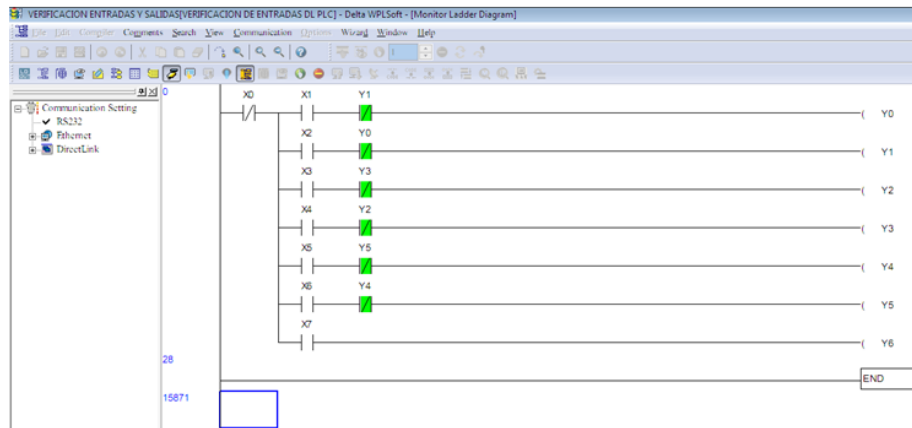
Figura 73 Programa en RUN



Fuente: Propia

En esta imagen observamos la descarga del programa en el PLC y las instrucciones. Los contactos que son cerrados están resaltados en verde.

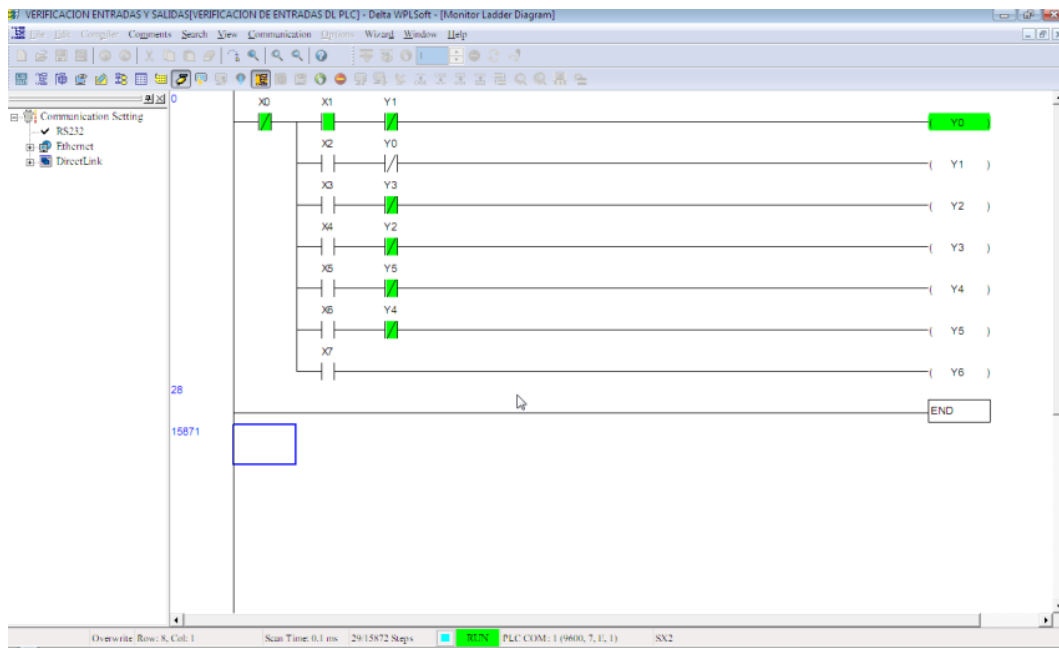
Figura 74 Visualización del programa en ejecución



Fuente: Propia

La x0 fue activada por lo tanto sale de la lista de color verde a estado en blanco.

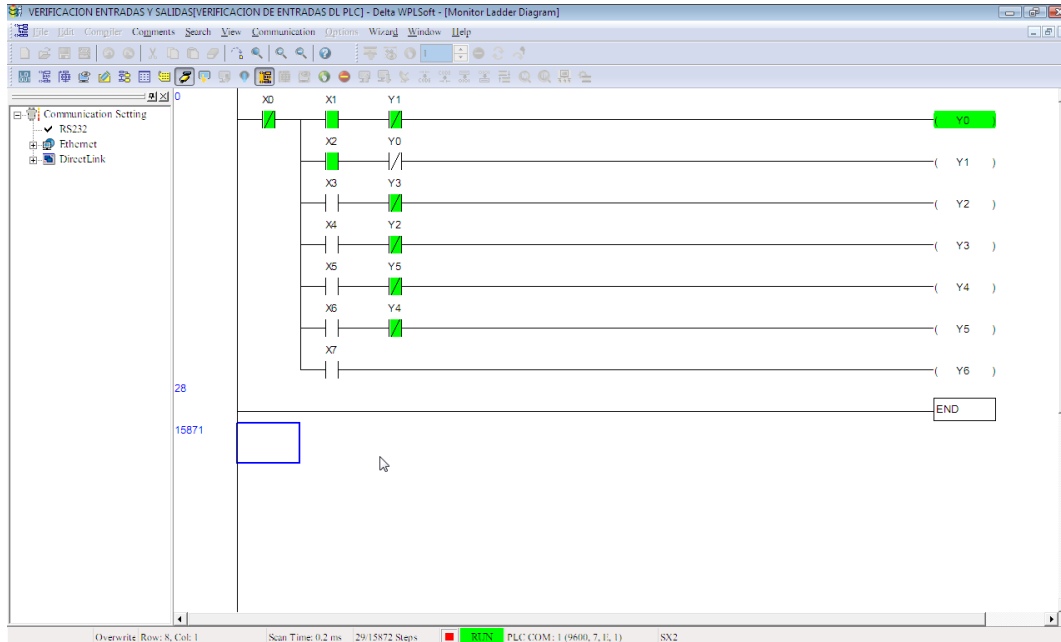
Figura 75 Activación de X0



Fuente: Propia

En la activación de X1 ya se habilita la salida Y0 y desactiva el contacto Y0, que está abajo en el ramal de salida de Y1.

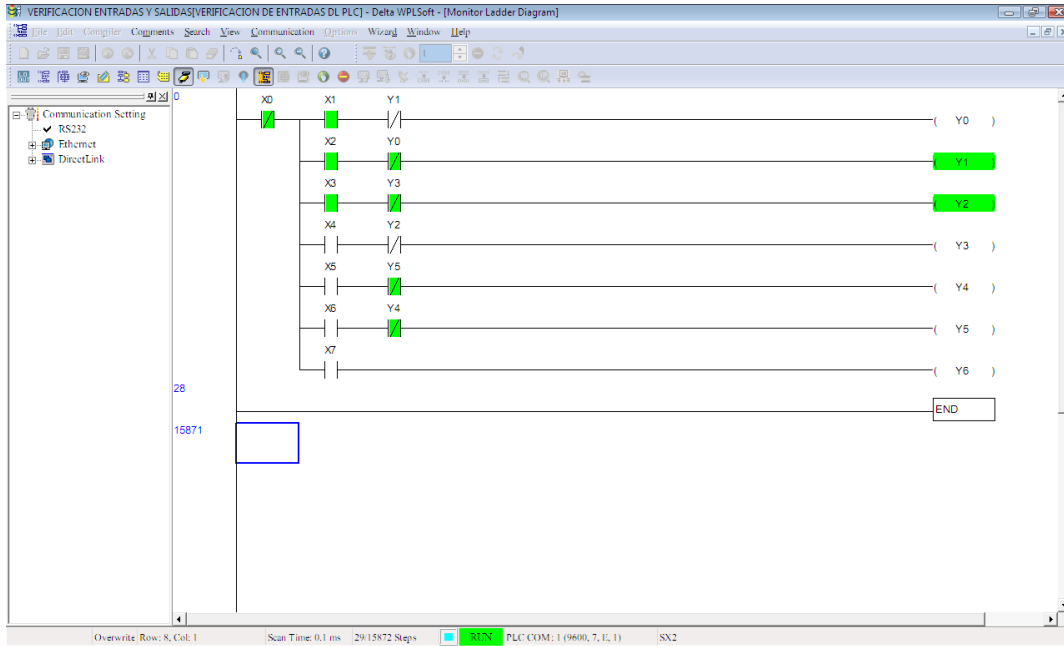
Figura 76 Y0 habilitado



Fuente: Propia

Al activar X2 se resalta la salida Y1, de igual manera la entrada X3 se desactiva y hace desactiva la salida Y1 al activar la entrada X3 se activa la salida Y3.

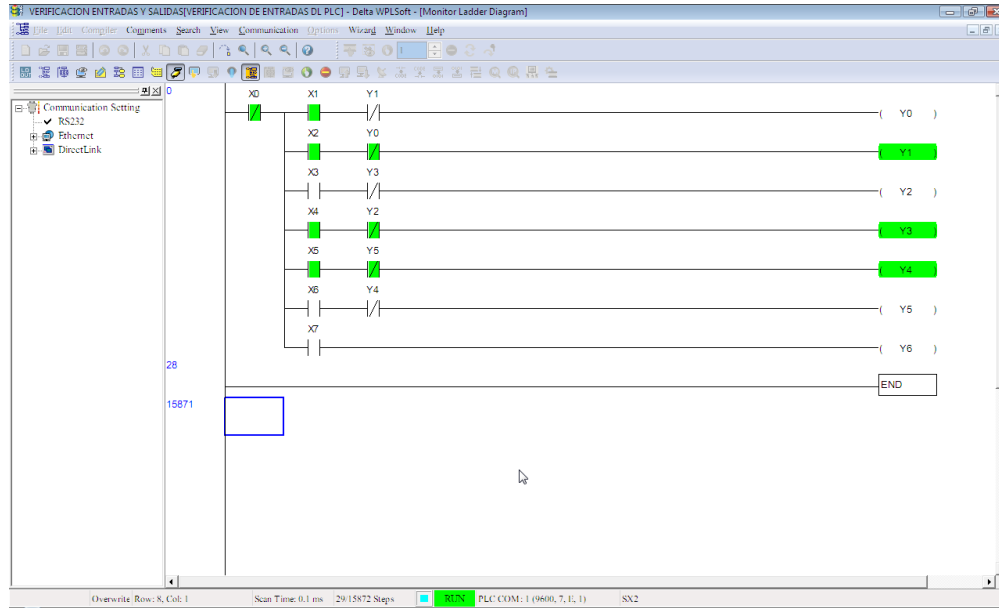
Figura 77 Activación de X2



Fuente: Propia

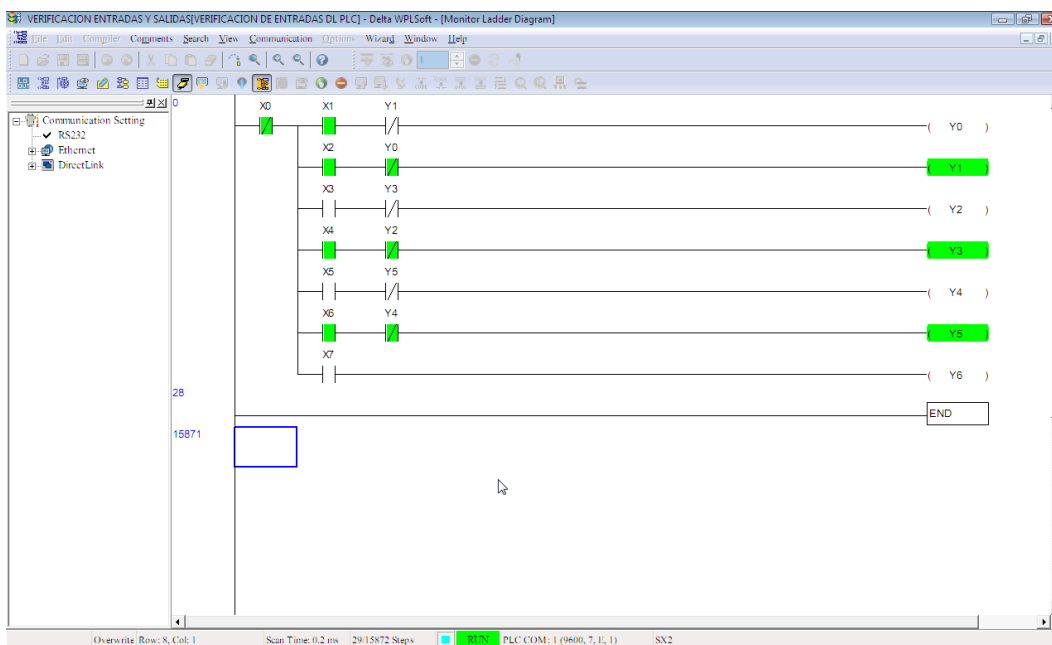
Las entradas y salidas están funcionando correctamente.

Figura 78 Salidas Y1, Y3, Y4 activas



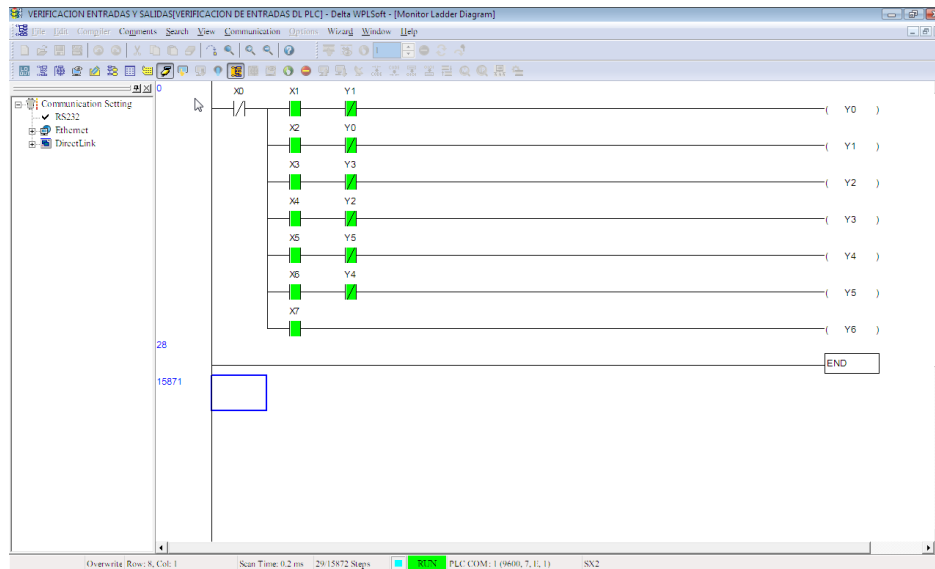
Fuente: Propia

Figura 79 Salidas Y1, Y3, Y5 activas



Fuente: Propia

Figura 80 Todas las salidas inactivas

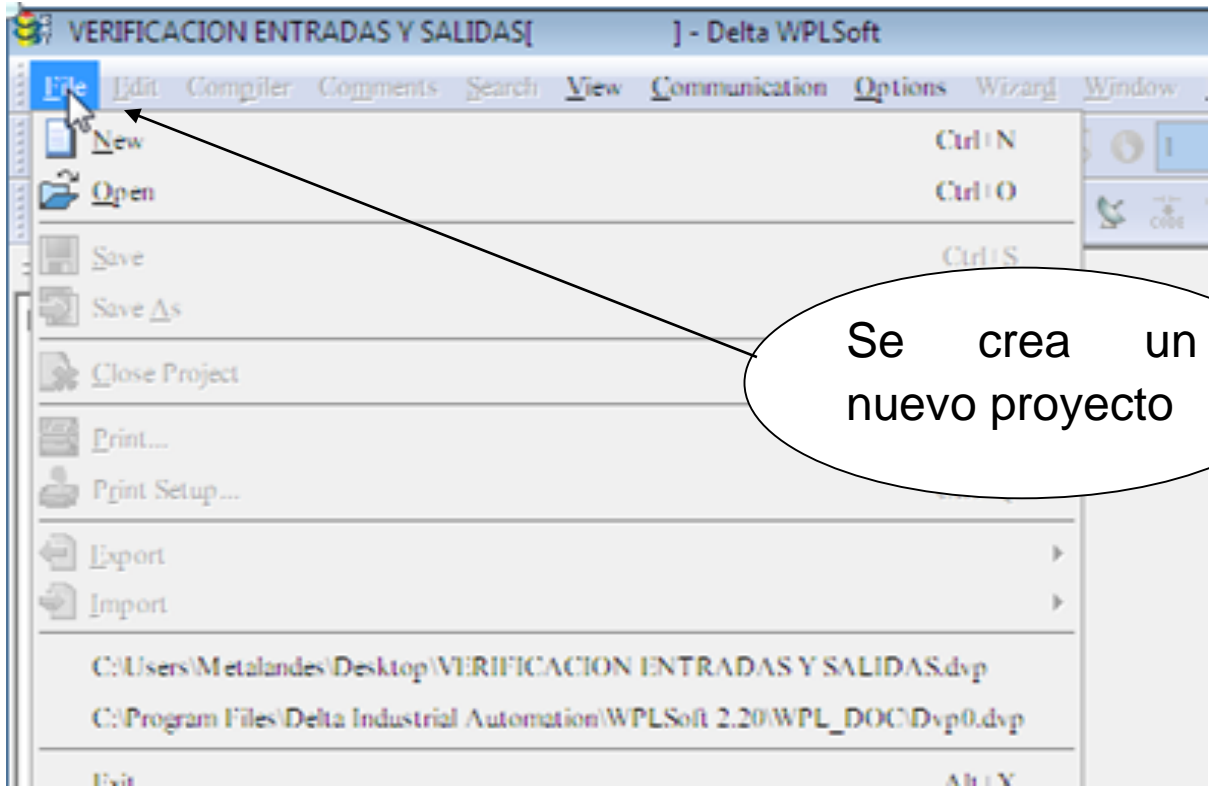


Fuente: Propia

2.1.3 Programación y control de PLC con pantalla HMI

Esta práctica se realizó con una pantalla HMI en la cual se implementó el conteo de pulsos según la frecuencia determinada.

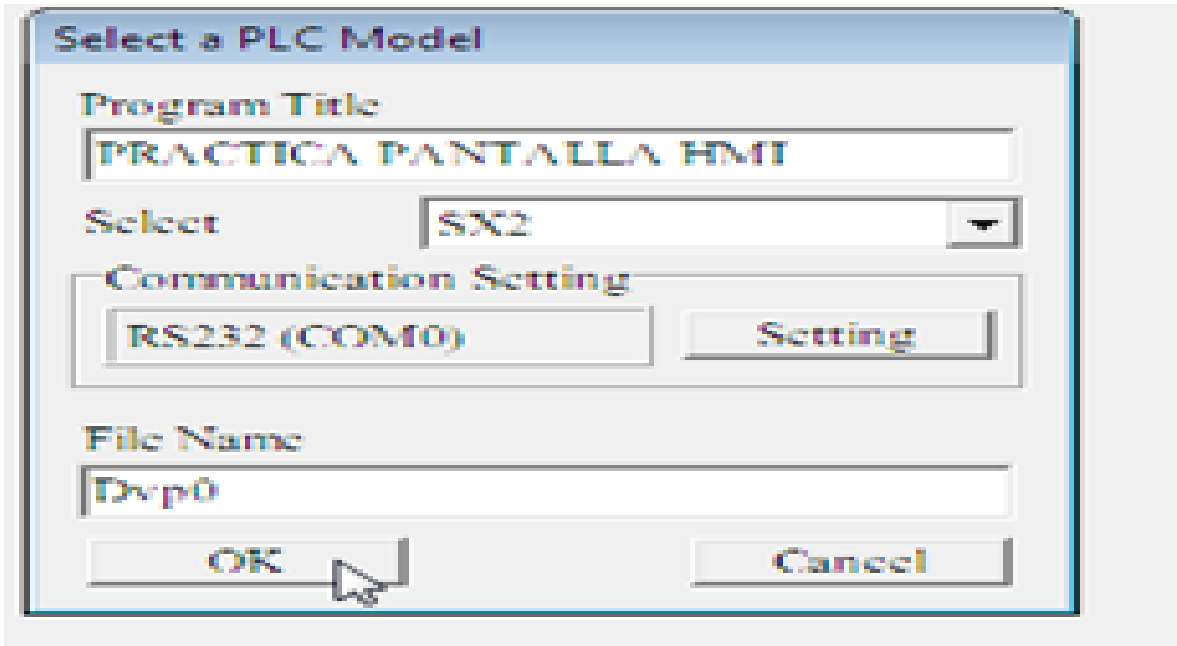
Figura 81 Nuevo proyecto



Fuente: Propia

Se configura el modelo de PLC a utilizar y se nombra el nuevo proyecto.

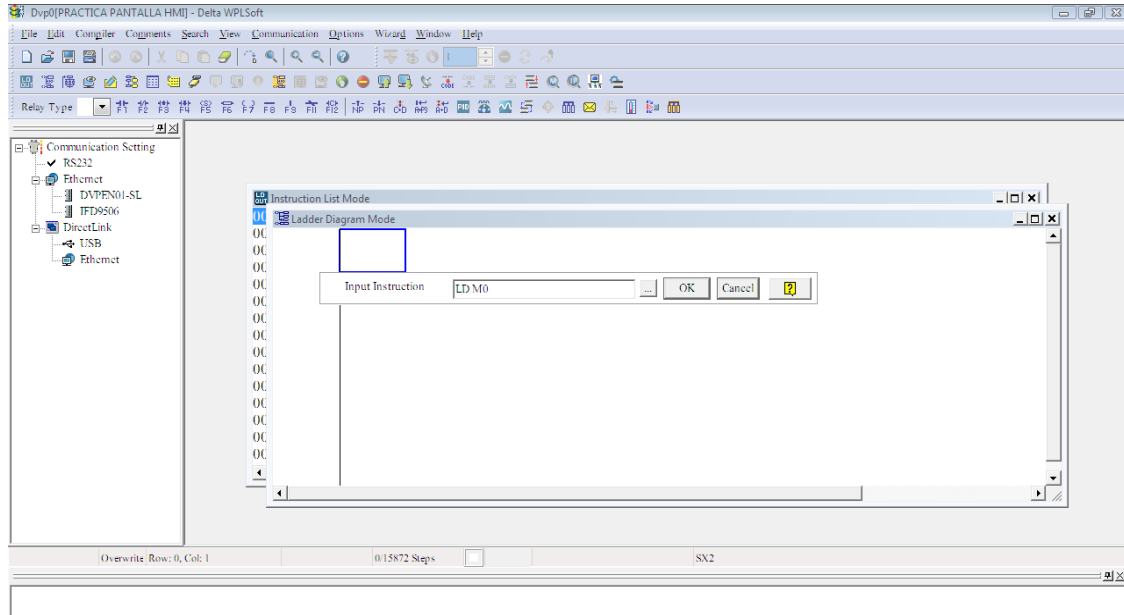
Figura 82 Selección modelo



Fuente: Propia

Una vez se evidencie la ventana se podrá empezar a configurar la lista de instrucciones.

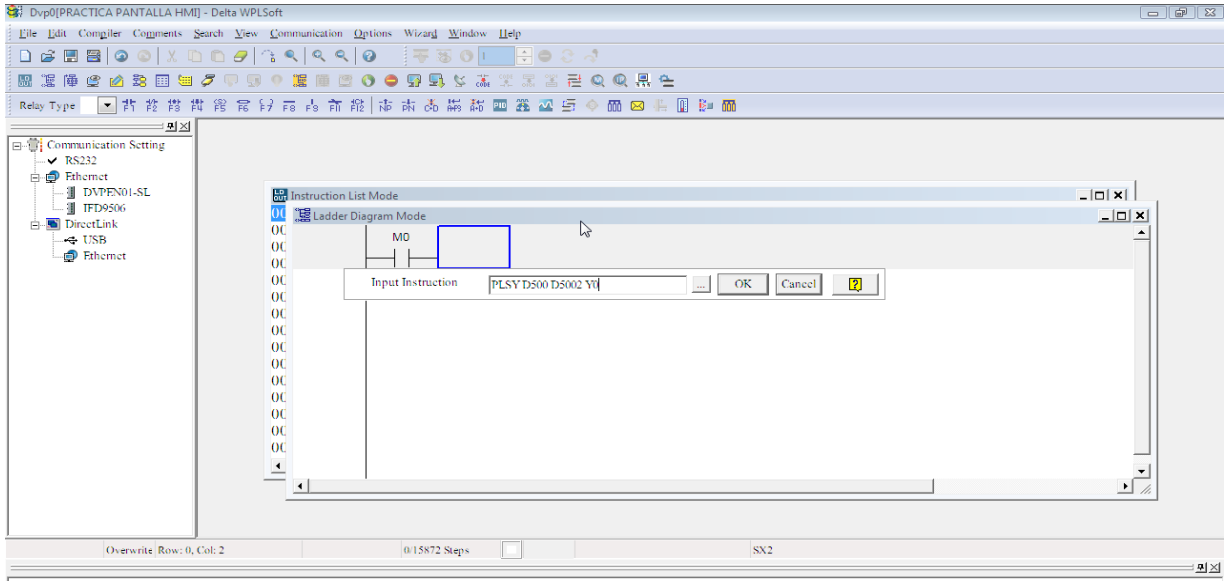
Figura 83 Inicio



Fuente: Propia

La bandera denominada en el programa como “M0” será utilizada para la siguiente práctica como el botón de encendido.

Figura 84 Bandera

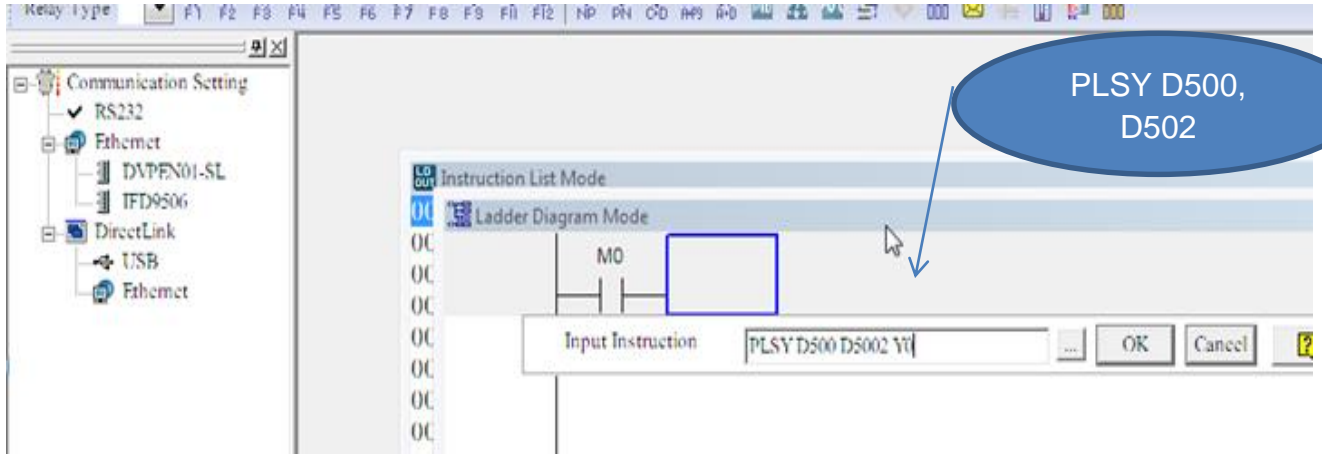


Fuente: Propia

La instrucción PLSY D500, D502, son dos registros, y PLSY es la instrucción de salida de pulso, y0 es la variable de salida.

Y el registro “D” será para este caso el registro controlador tanto en la pantalla como en el PLC, manejaran la misma instrucción.

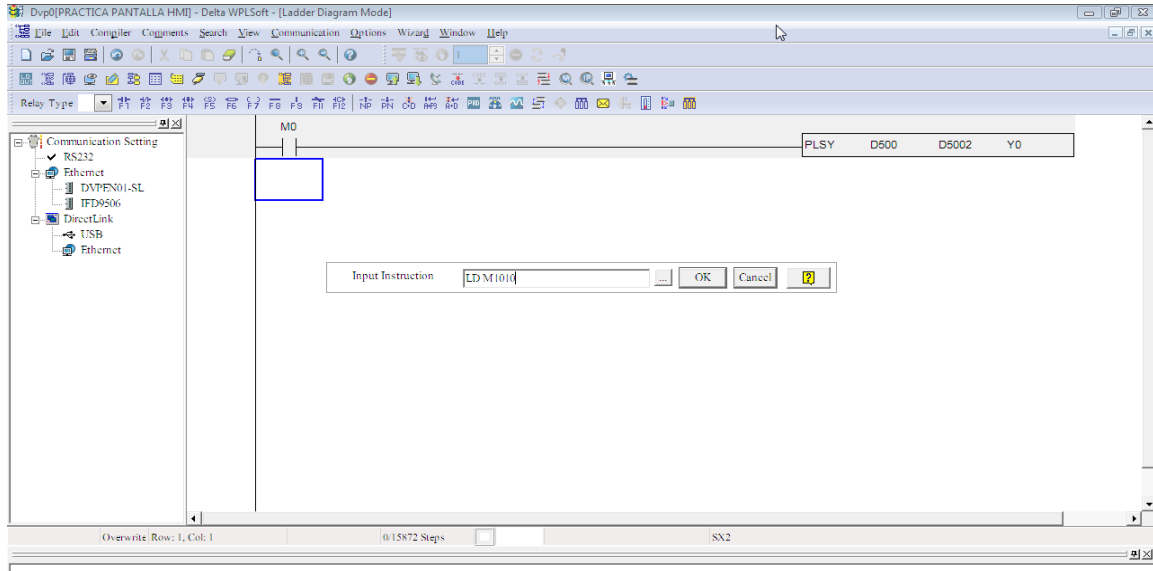
Figura 85 Instrucciones de registro



Fuente: Propia

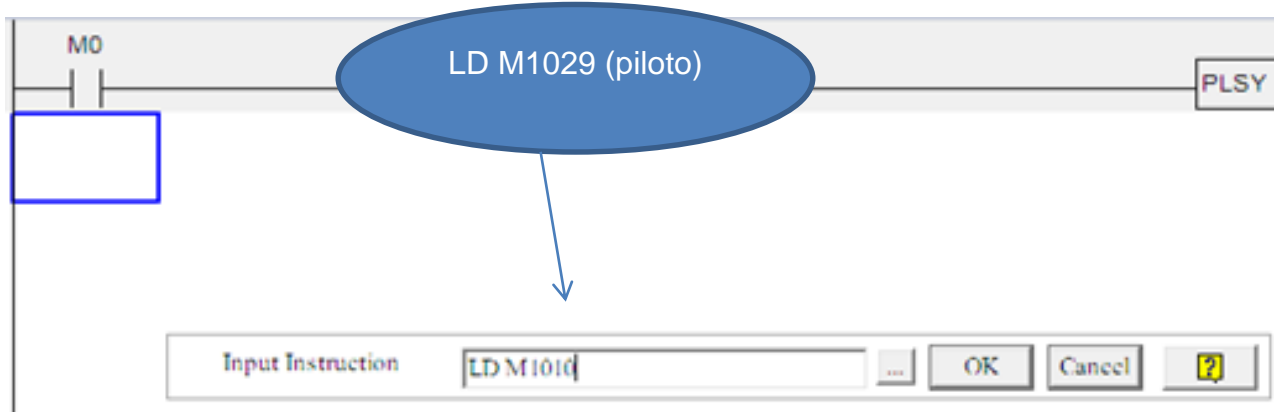
La bandera m1029 para el caso siguiente será un piloto a lámpara de alarma, la cual es el final de carrera o conteo de pulsos programados para el conteo total.

Figura 86 Lámpara o piloto



Fuente: Propia

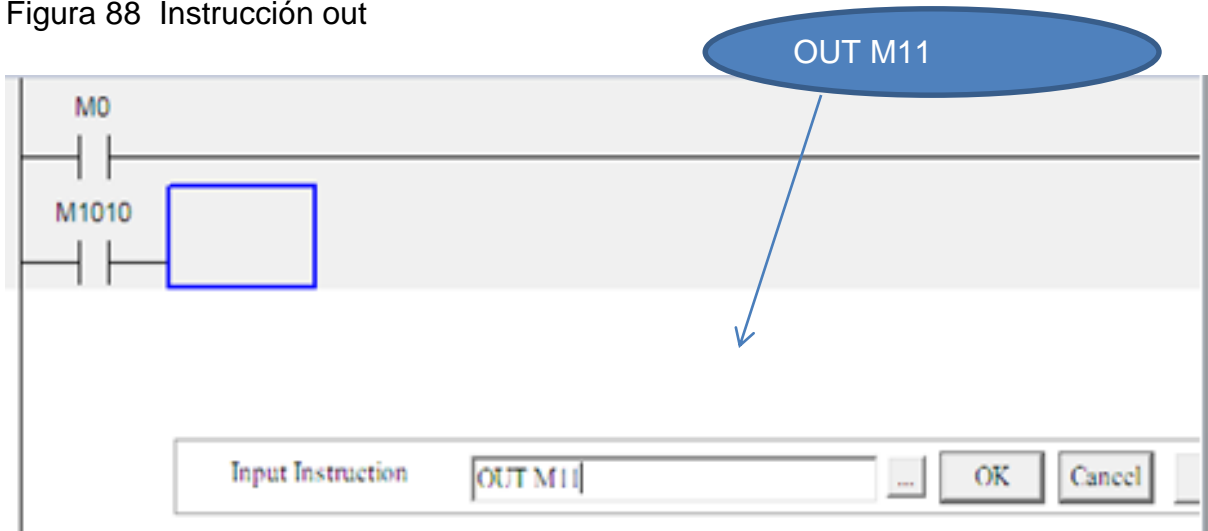
Figura 87 Instrucción piloto



Fuente: Propia

M11 estará denominada como la lámpara de salida.

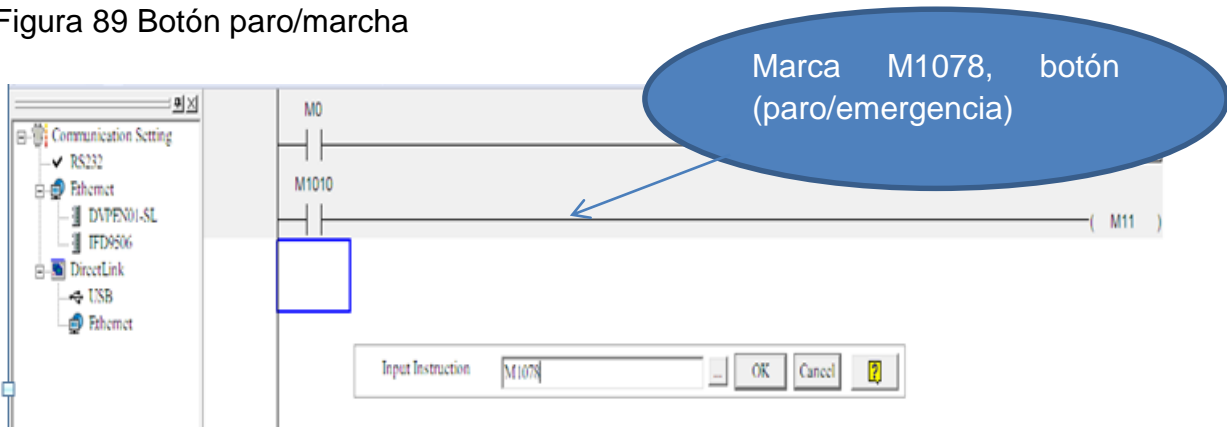
Figura 88 Instrucción out



Fuente: Propia

En la siguiente figura se evidencia como la marca M1078, será usada como el botón de paro/marcha, el cual dará inicio o detendrá el conteo.

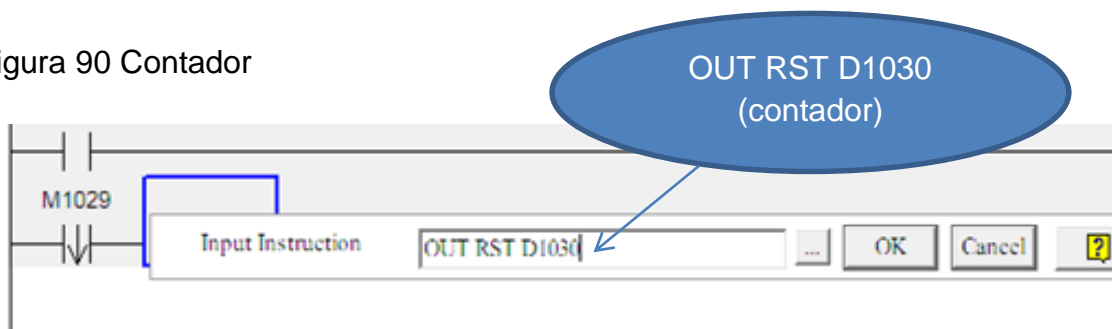
Figura 89 Botón paro/marcha



Fuente: Propia

D1030 será el contador de los pulsos para esta práctica como se muestra en la figura siguiente.

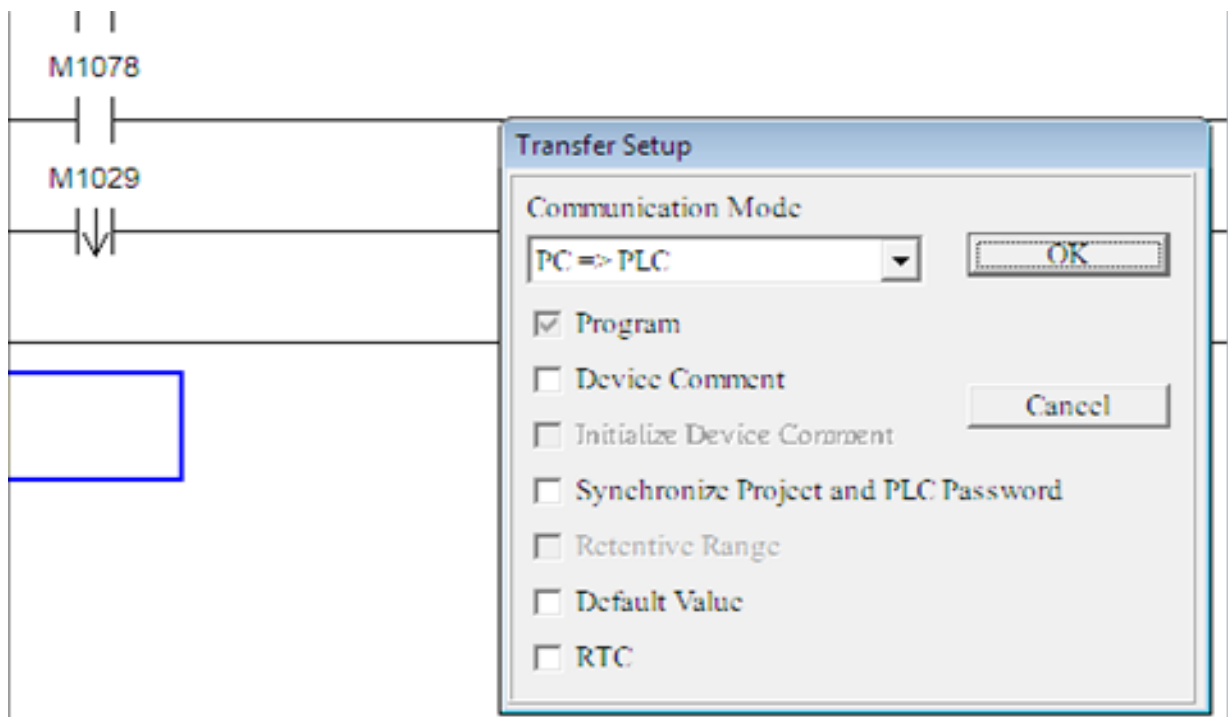
Figura 90 Contador



Fuente: Propia

Una vez terminada la programación requerida se compila y se envía al PLC dando por finalizada la etapa de programación del PLC, quedando pendiente la configuración de la pantalla.

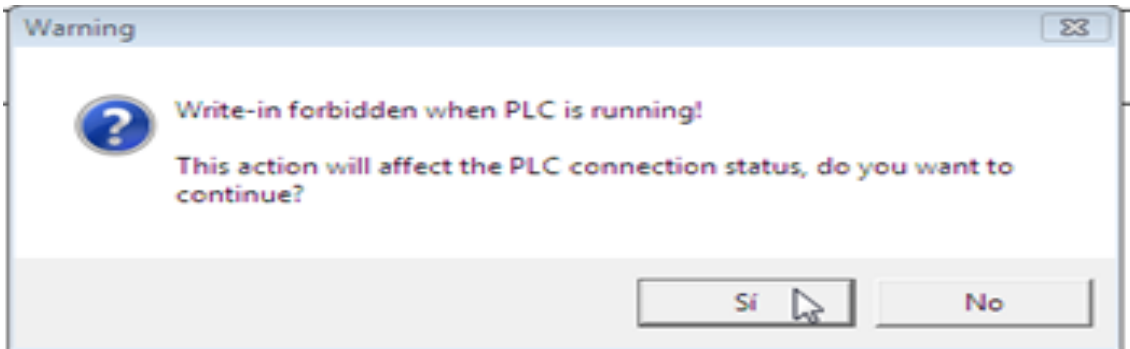
Figura 91 Descarga del software al PLC



Fuente: Propia

Una vez cargado el programa en el PLC, el software despliega una ventana donde advierte que reescribirá la configuración nueva en el PLC mientras este se encuentra corriendo, a lo cual se debe seleccionar “si”.

Figura 92 Reescribir el PLC



Fuente: Propia

Se enuncian a continuación las instrucciones usadas en la configuración anterior del programa ya cargado en el PLC.

MO=Botón de encendido del programa. Este se da con la instrucción **(ID)** que al presionar nos carga un contacto normalmente cerrado **(no)**.

PLSY= configuración de salida de un **PLC** con tren de pulsos.

D500= dispositivo de salida de pulso.

D502= dispositivo de entrada de frecuencia.

- ***Configuración de la pantalla hmi***

Se procede a la configuración de la pantalla, en este caso hay que seleccionar el modelo de la pantalla HMI que se usará en el proyecto.

Para este caso será HMI ref.(DOP-B03E211).

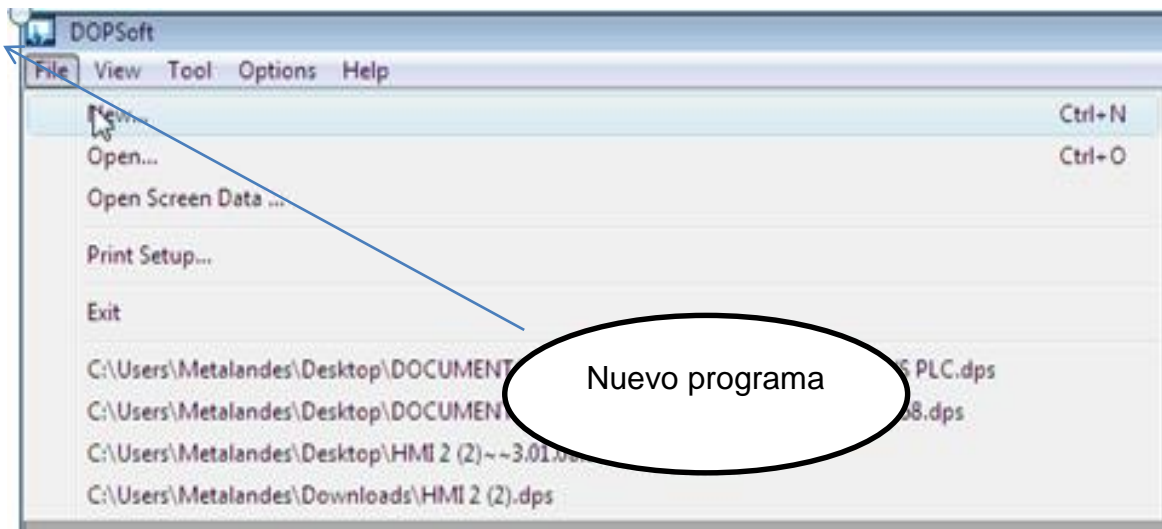
Se abre el software "DOP-SOFT", en el cual se realizará la siguiente configuración con el fin de realizar modificaciones desde interface con el PLC delta.

- **Pasos para la configuracion**

Primer paso:

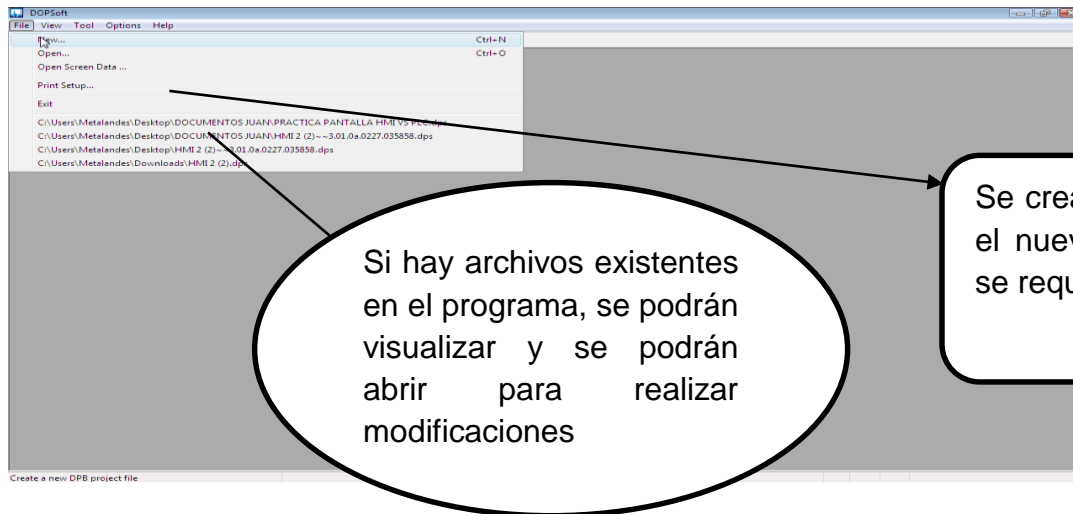
Abrimos el software y seleccionamos un nuevo archivo para la creación de un nuevo programa.

Figura 93 Nuevo programa



Fuente: Propia

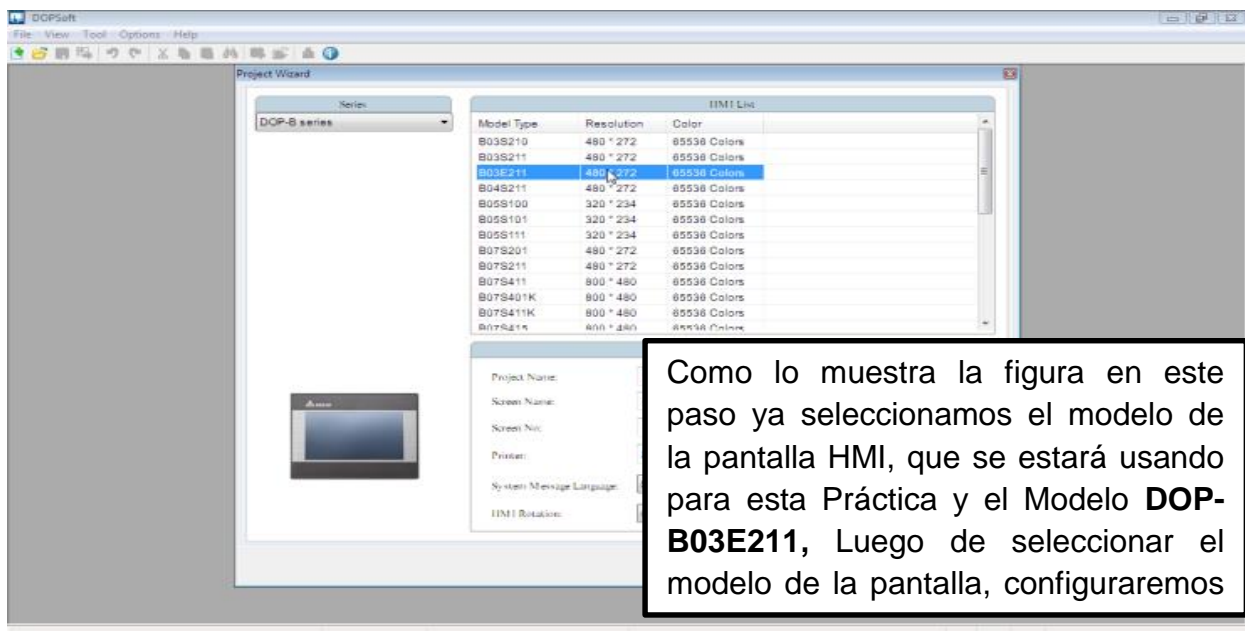
Figura 94 Nombrar archivo



Fuente: Propia

Ya creado el programa se selecciona un nuevo archivo, el cual trae una ventana donde se configura el modelo de la pantalla.

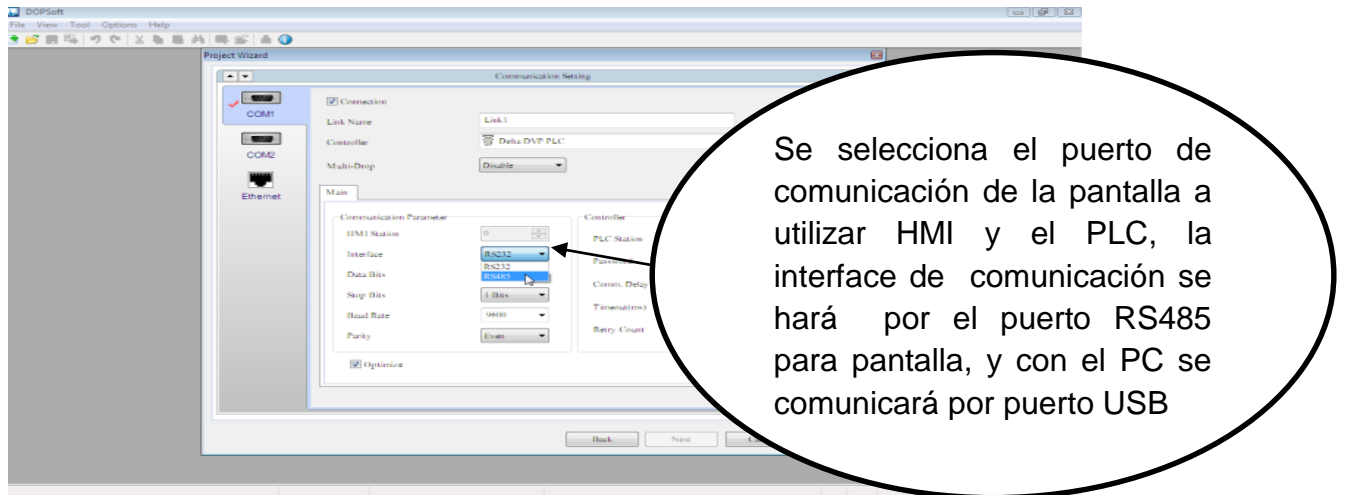
Figura 95 Modelo de la pantalla



Fuente: Propia

En la siguiente se muestra como configurar el protocolo de comunicación; para el siguiente caso será RS485.

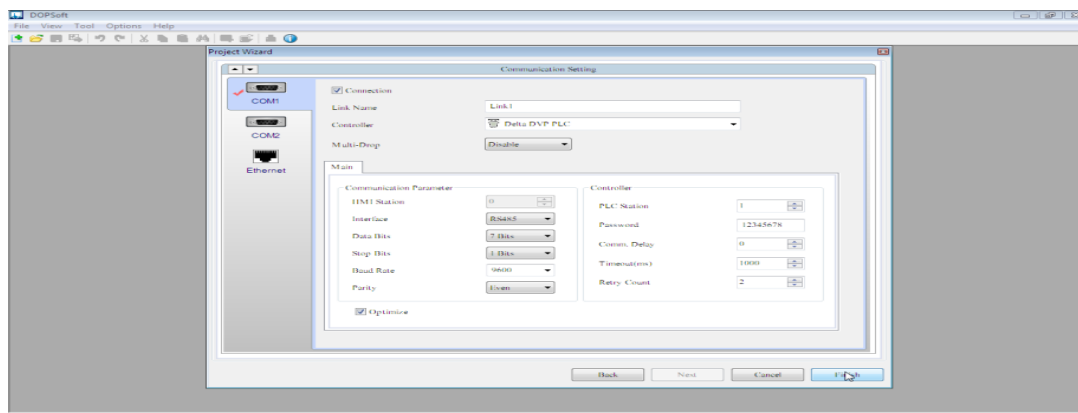
Figura 96 Protocolo de comunicación RS-485



Fuente: Propia

Una vez seleccionado el puerto con el cual se desarrollará el trabajo, se selecciona la opción finalizar.

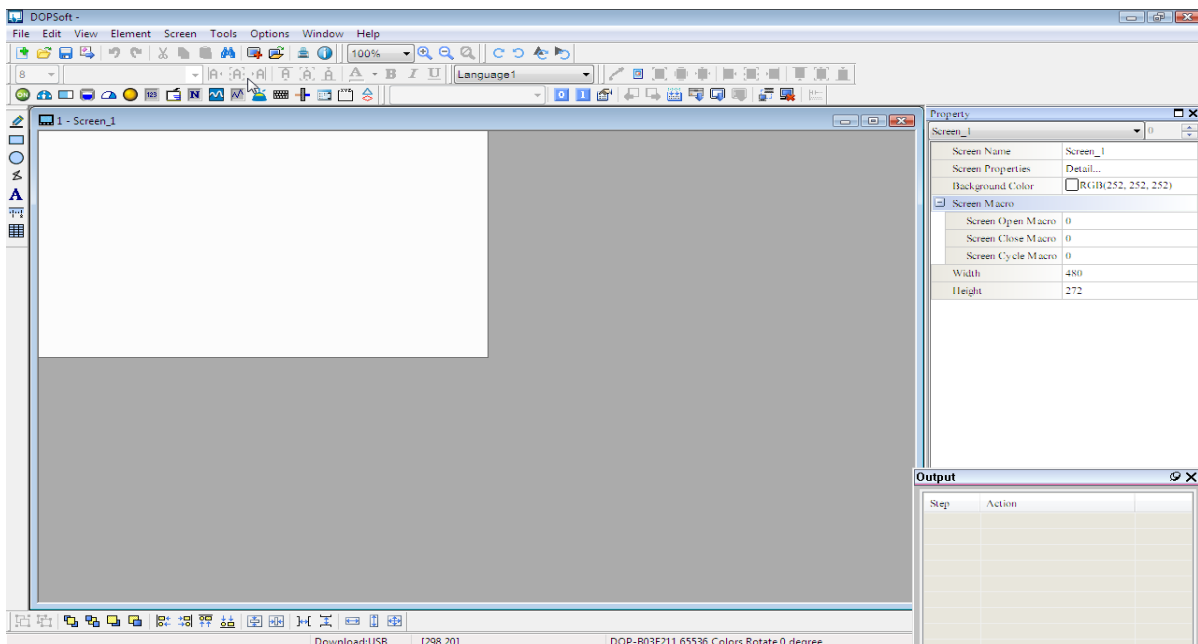
Figura 97 Finalizar



Fuente: Propia

Ya cargada la configuración de la lista de instrucciones, se dará lugar al paso siguiente con el que se pretende controlar el servo motor atreves del PLC usando la pantalla “HMI”.

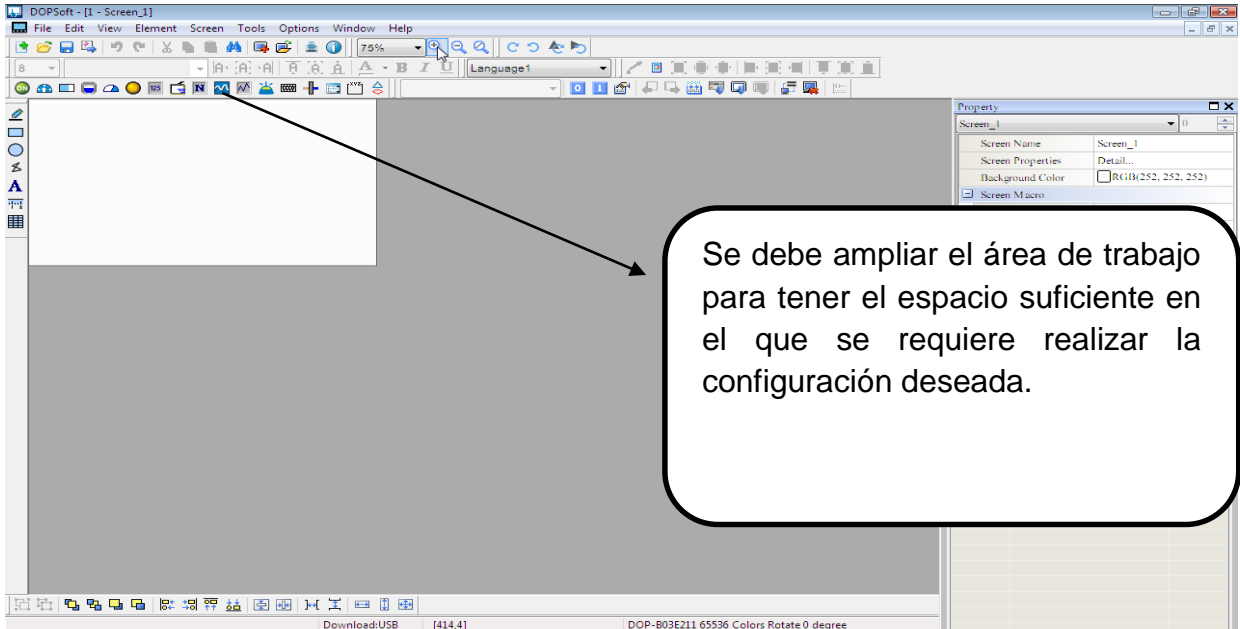
Figura 98 Configuración desde la pantalla



Fuente: Propia

gEn la imagen que se muestra enseguida apreciaremos la ventana del programa donde se configura la lista de instrucciones.

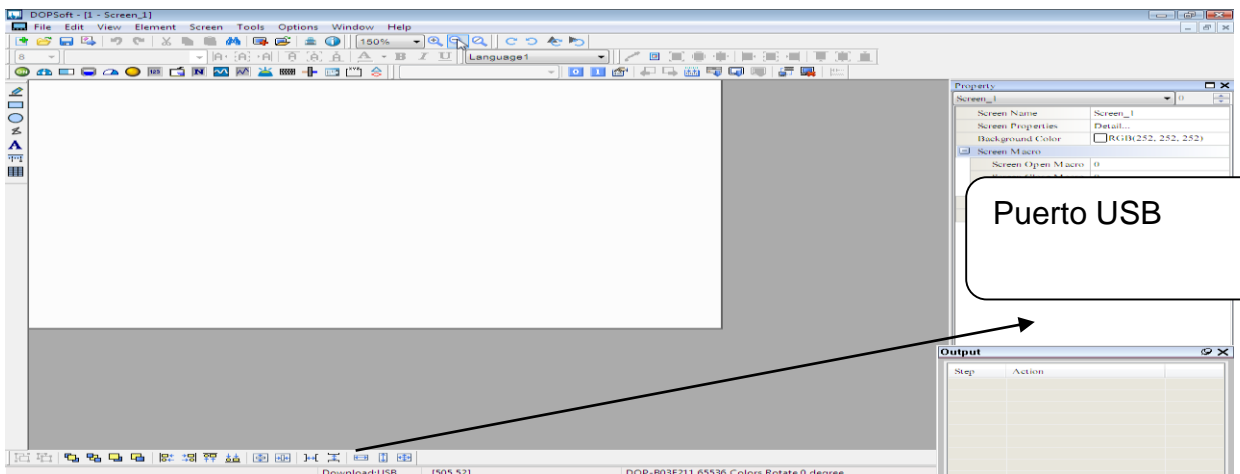
Figura 99 Configuración lista de instrucciones



Fuente: Propia

En la siguiente figura se puede observar cómo se expandió el área donde se ejecutará el programa y en la parte inferior de dicha ventana se puede observar que este puede realizar comunicación a través de un puerto USB.

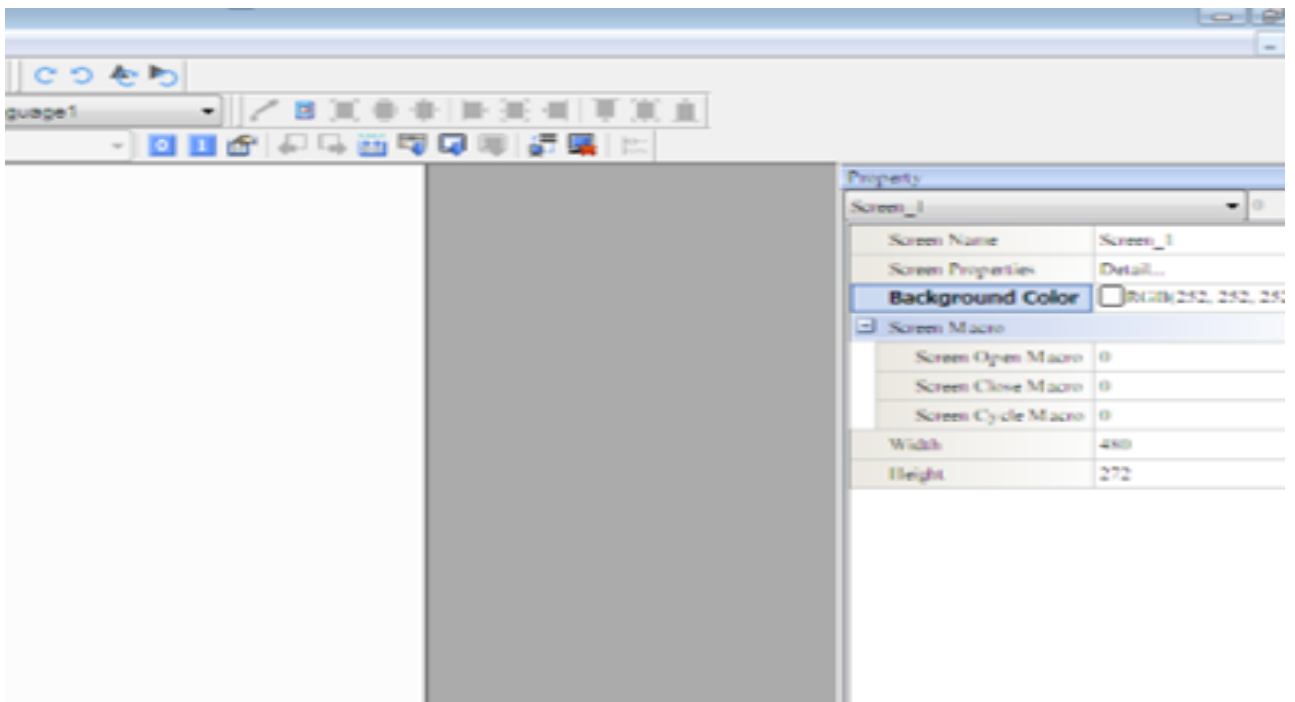
Figura 100 Puerto USB



Fuente: Propia

En la próxima figura se demuestra como se pueden hacer modificaciones de color en el área de trabajo.

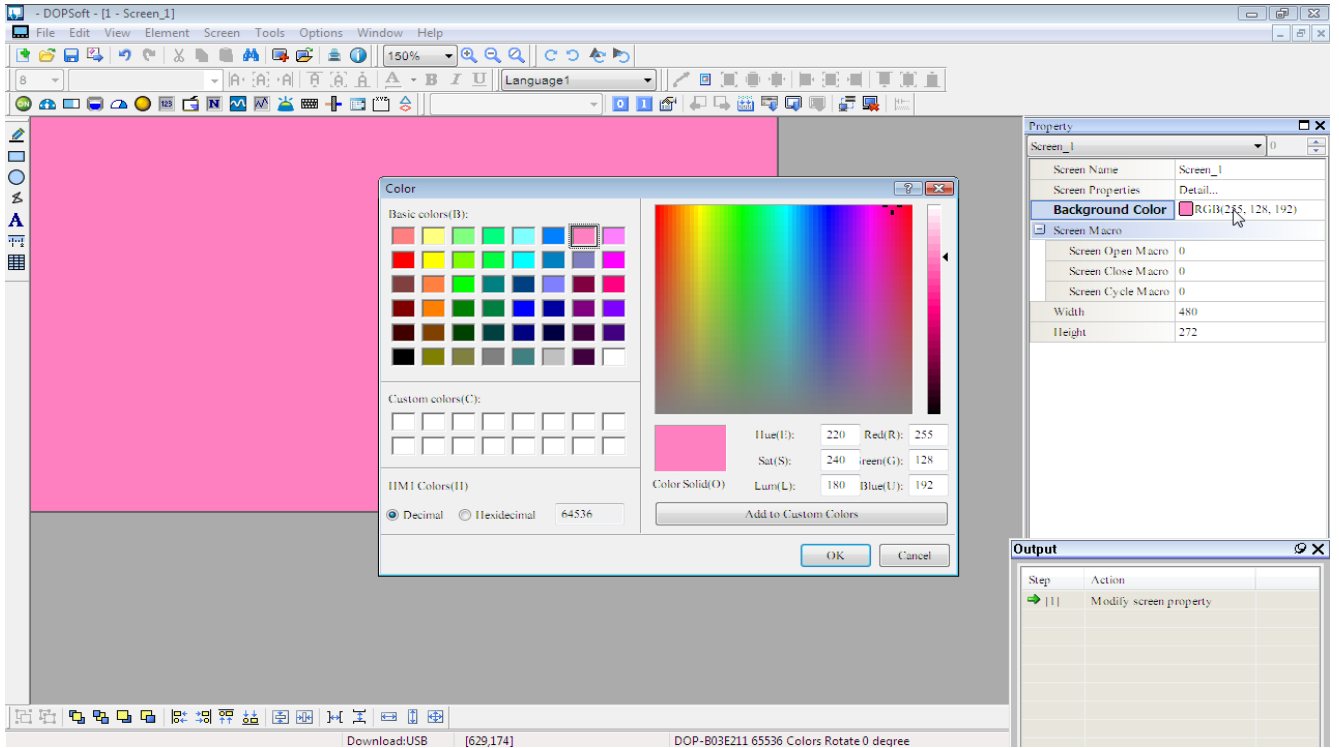
Figura 101 Color en el área de trabajo



Fuente: Propia

Una vez seleccionado el color en el área de trabajo se procede a configurar las instrucciones para cargárselas al PLC.

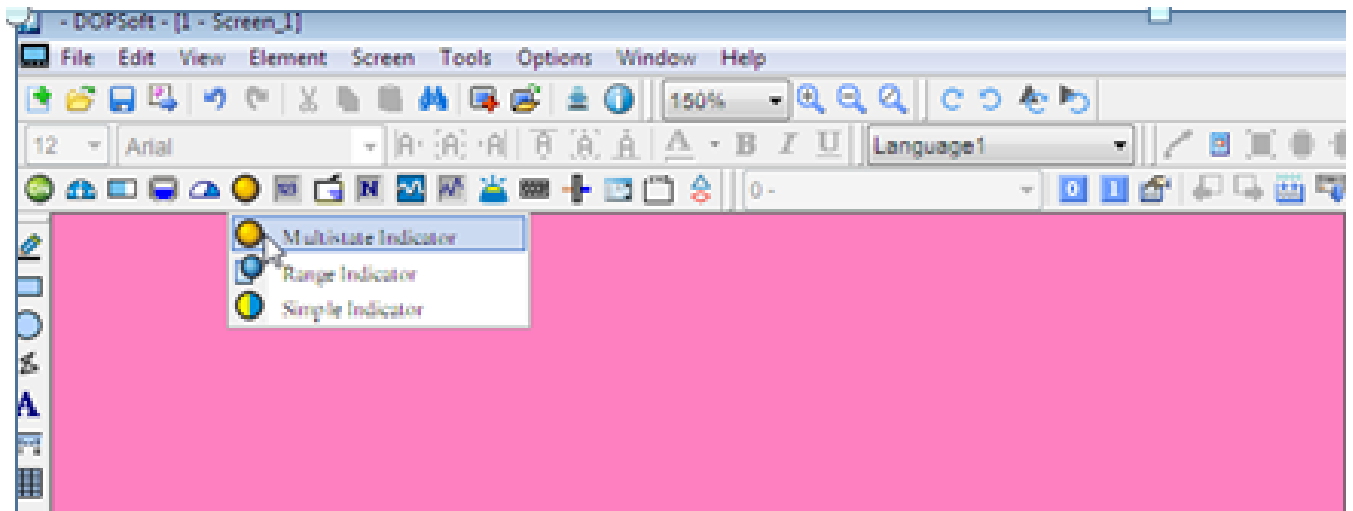
Figura 102 Indicador multiestado



Fuente: Propia

En esta se evidencia la opción de selección “indicador multiestado”.

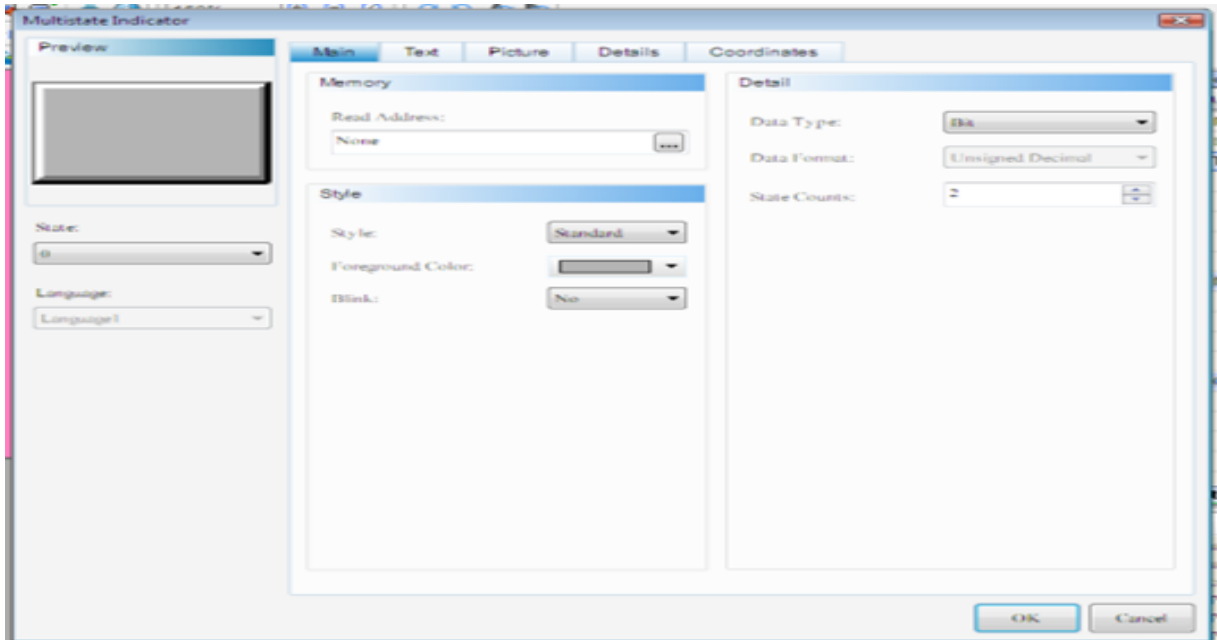
Figura 103 Dirección para comprobar la compatibilidad



Fuente: Propia

A continuación se muestra como se configura la dirección que se le asigna al segmento en el que se está realizando la configuración del programa nuevo, para comprobar la compatibilidad con el software usado para la configuración del PLC.

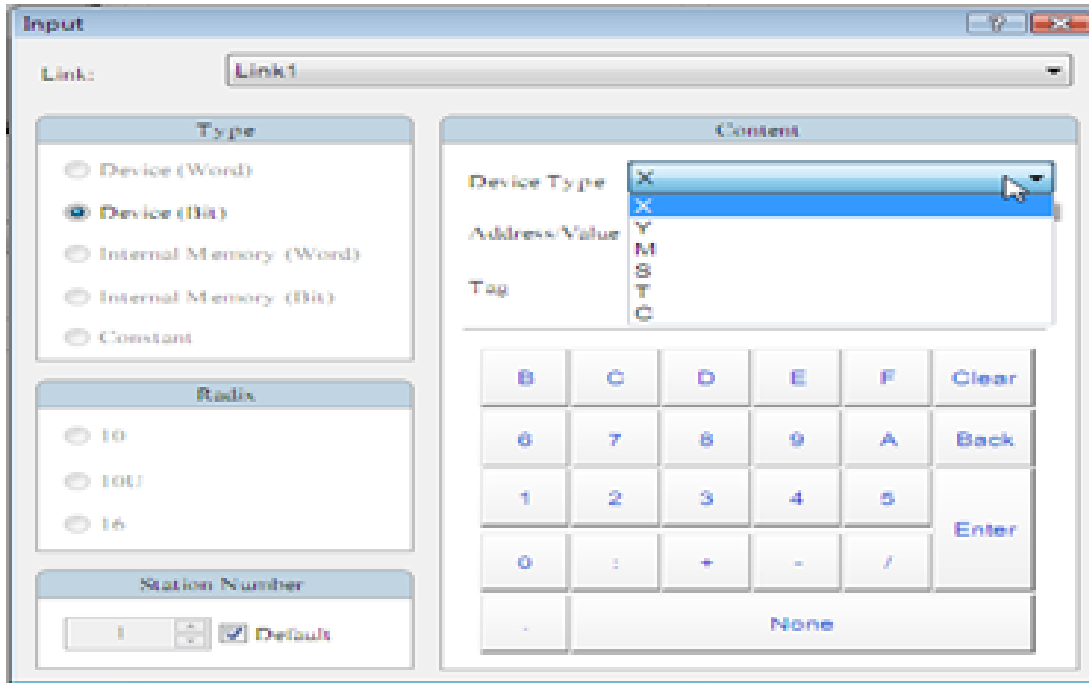
Figura 104 Visualizador de fin de pulsos



Fuente: Propia

En la instrucción siguiente se puede detectar el visualizador de fin de pulsos, el que será en el programa la marca interna (M1029) la cual será asignada como la dirección para la configuración creada.

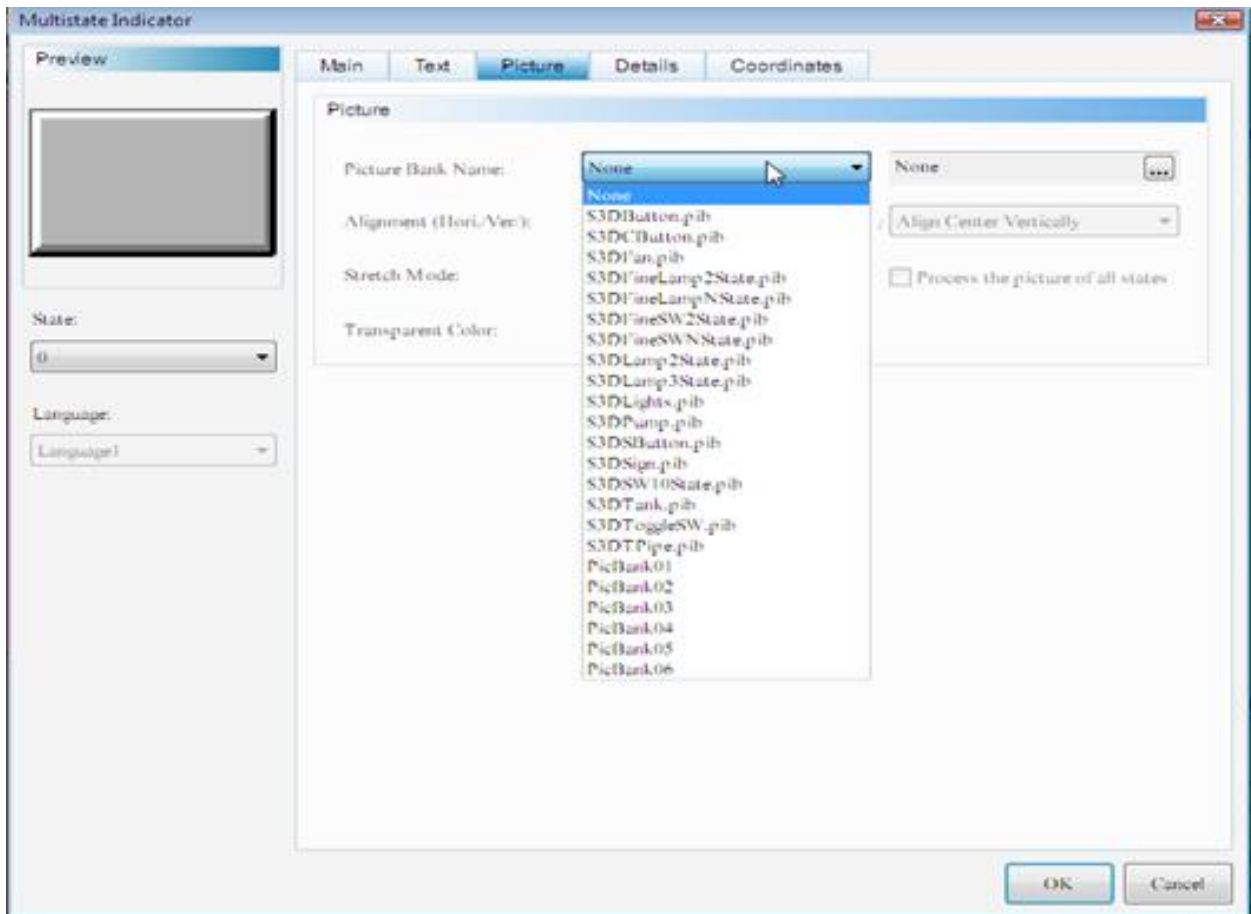
Figura 105 Lámparas, pilotos visibles



Fuente: Propia

Aquí se evidencia la utilización de las lámparas (pilotos visibles) usadas en la configuración del programa.

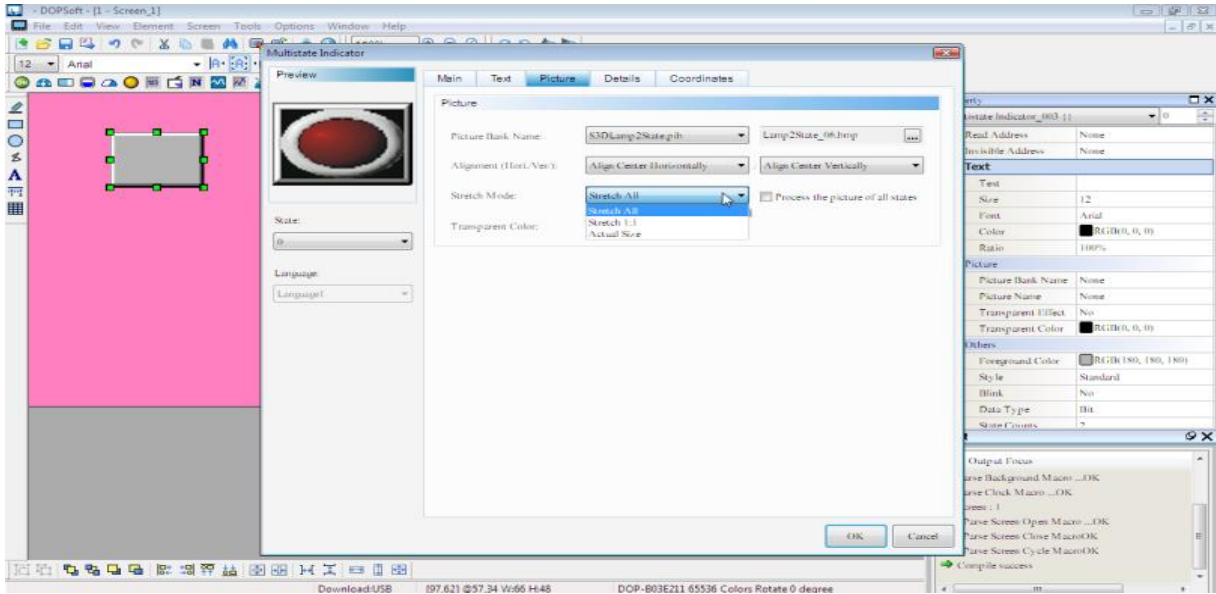
Figura 106 Dimensionamiento de lámpara



Fuente: Propia

En este paso configuraremos el dimensionamiento de la lámpara acorde al área de trabajo, como se observa en la siguiente figura.

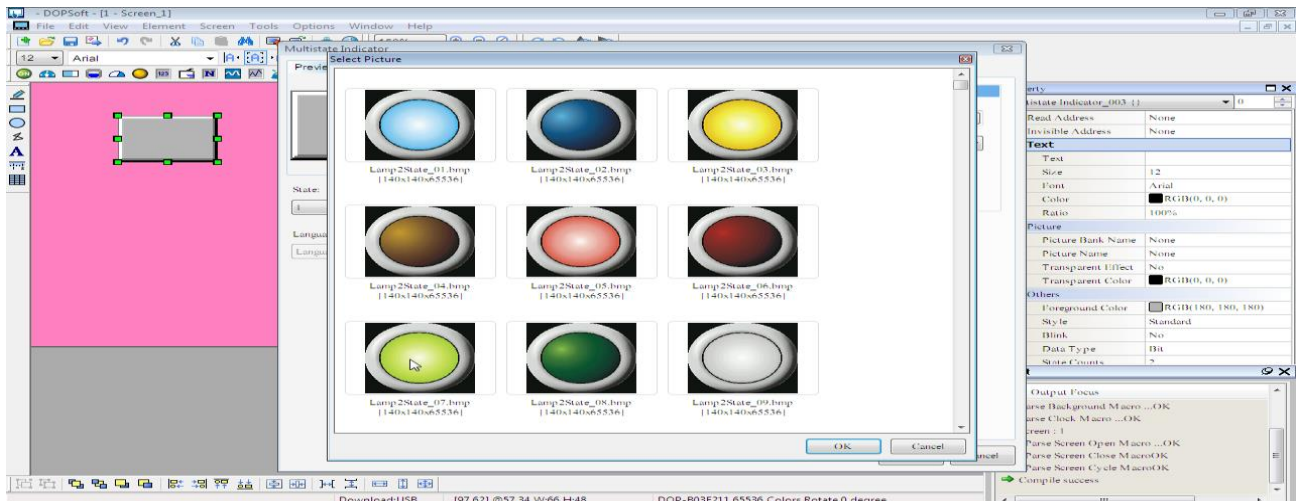
Figura 107 Lámpara ya configurada



Fuente: Propia

Damos como finalizada la configuración de la primera lámpara.

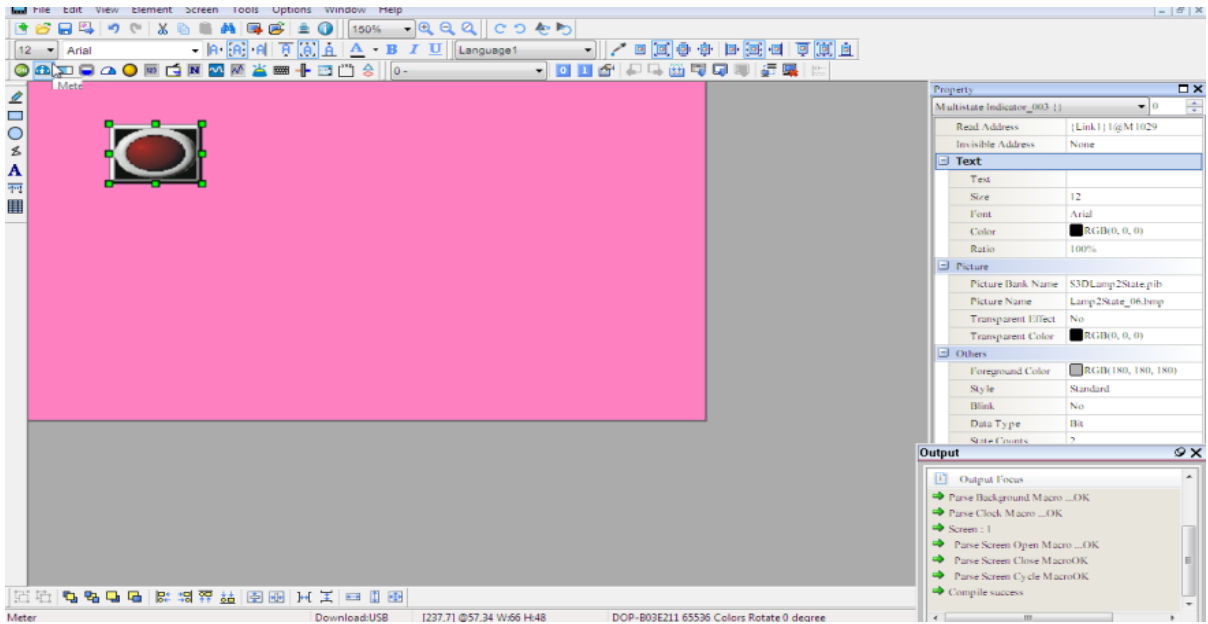
Figura 108 Configuración de la segunda lámpara



Fuente: Propia

Para realizar la configuración de las siguientes lámparas se repite el proceso anterior, se guarda y se visualiza como se muestra a continuación.

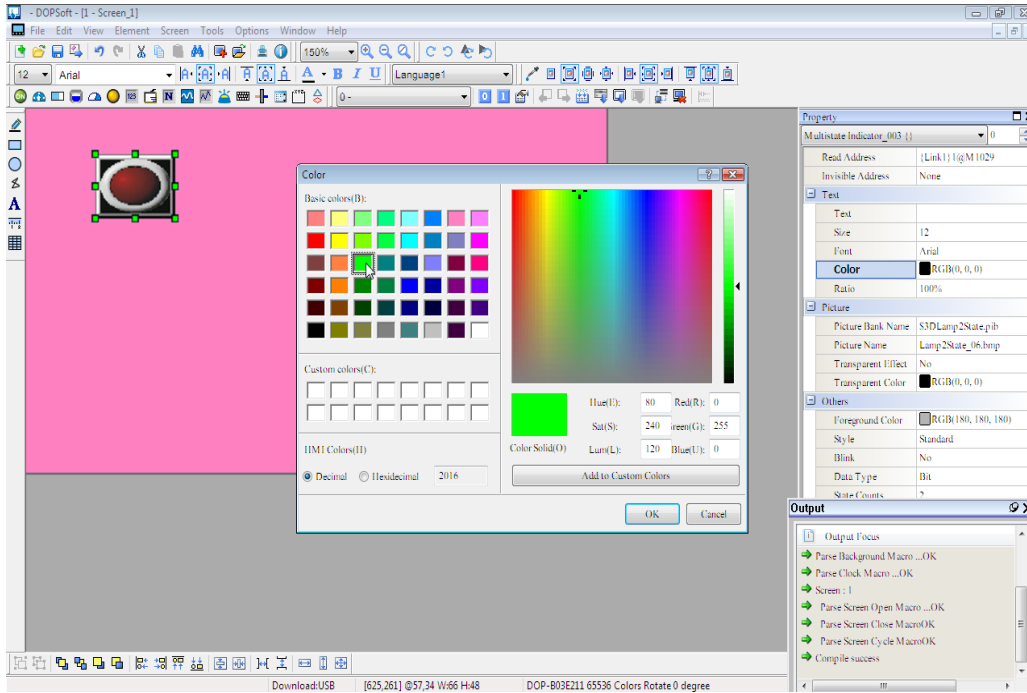
Figura 109 Configuración de colores en el fondo de la pantalla



Fuente: Propia

Se pueden realizar configuraciones de color para el fondo de la pantalla como se muestra en la imagen siguiente.

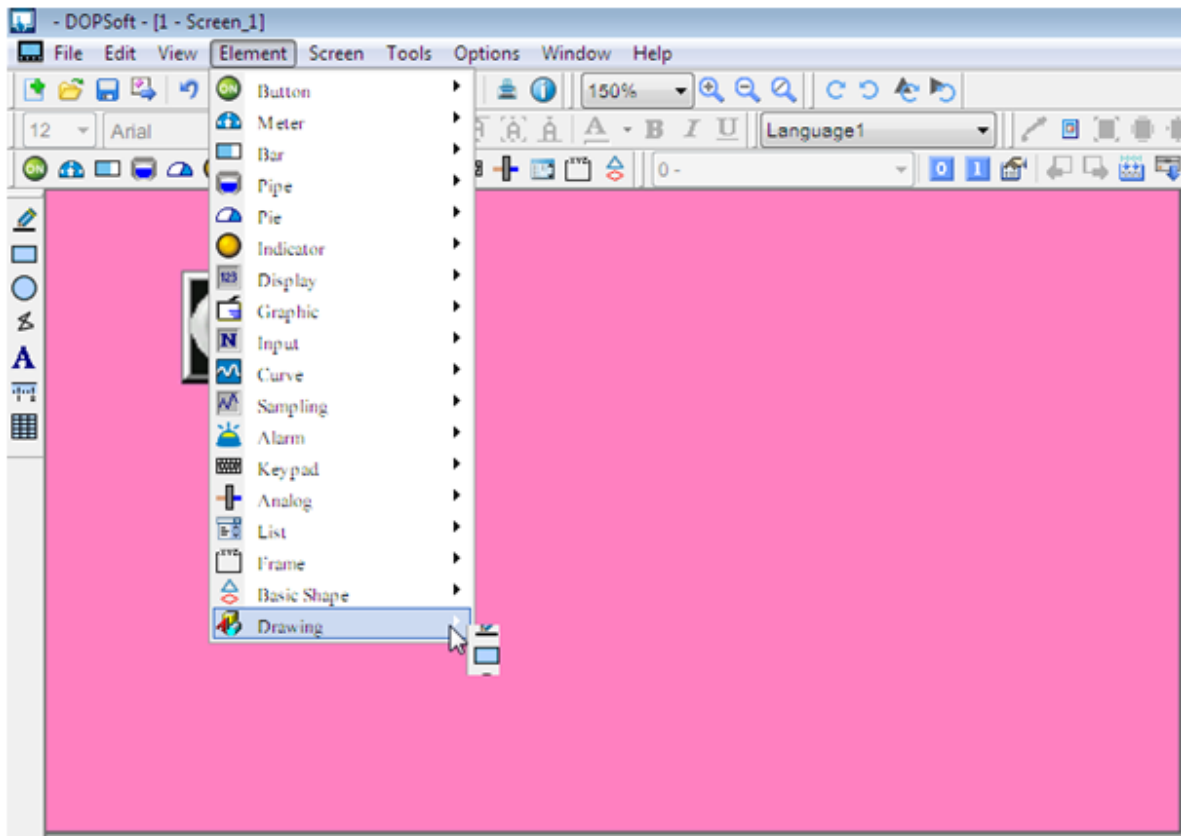
Figura 110 Nombre de la instrucción



Fuente: Propia

En este paso se nombra la instrucción ya configurada.

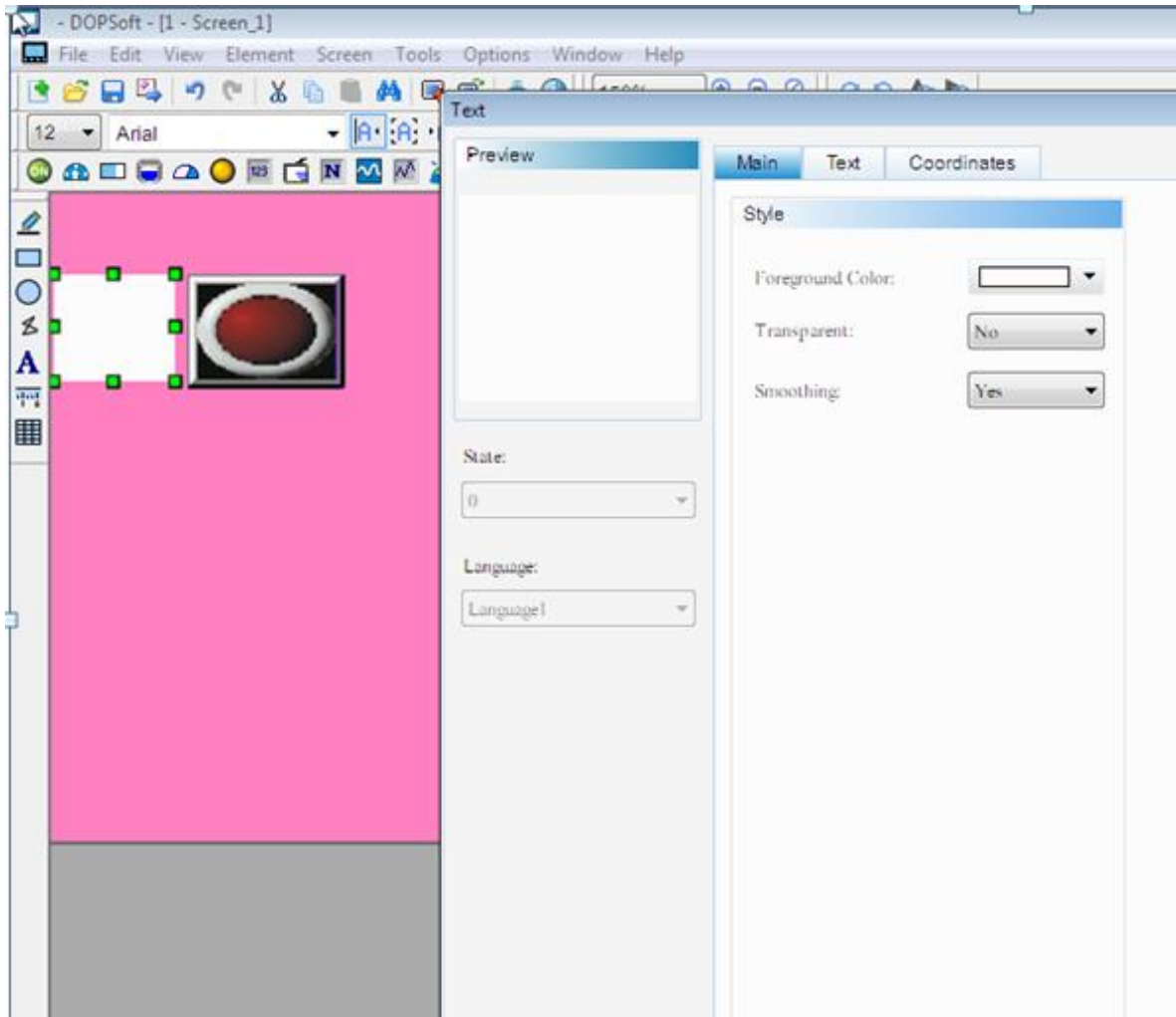
Figura 111 Configuración



Fuente: Propia

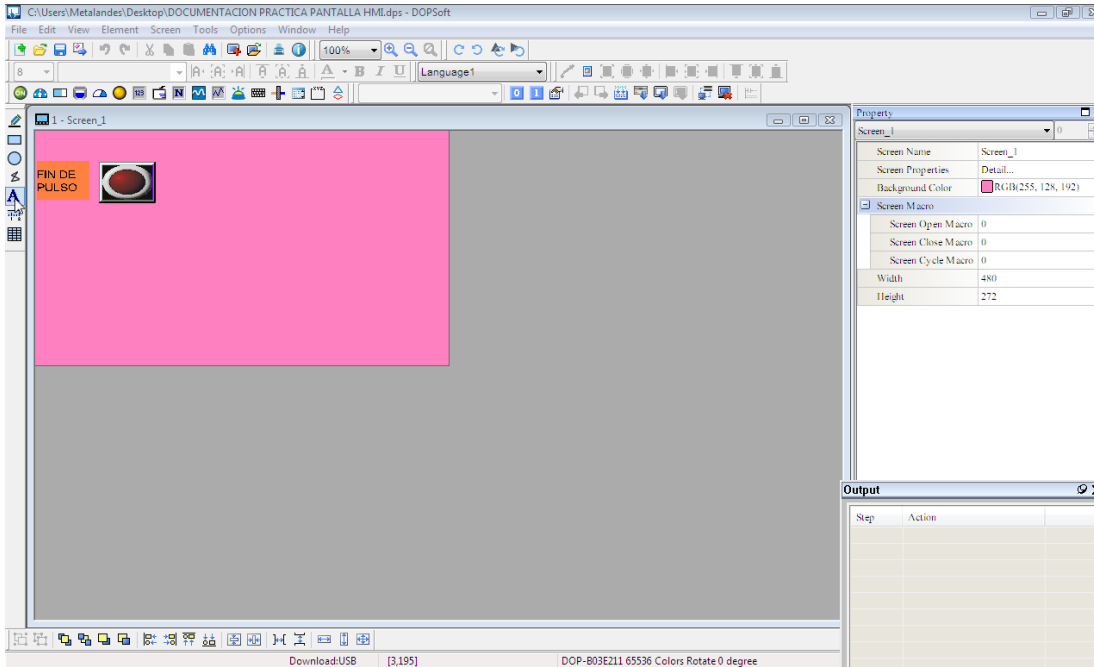
De igual forma que las instrucciones anteriores también se selecciona y se configura.

Figura 112 Configuración ya realizada de la lámpara. Visualizadores de fin de pulsos



Fuente: Propia

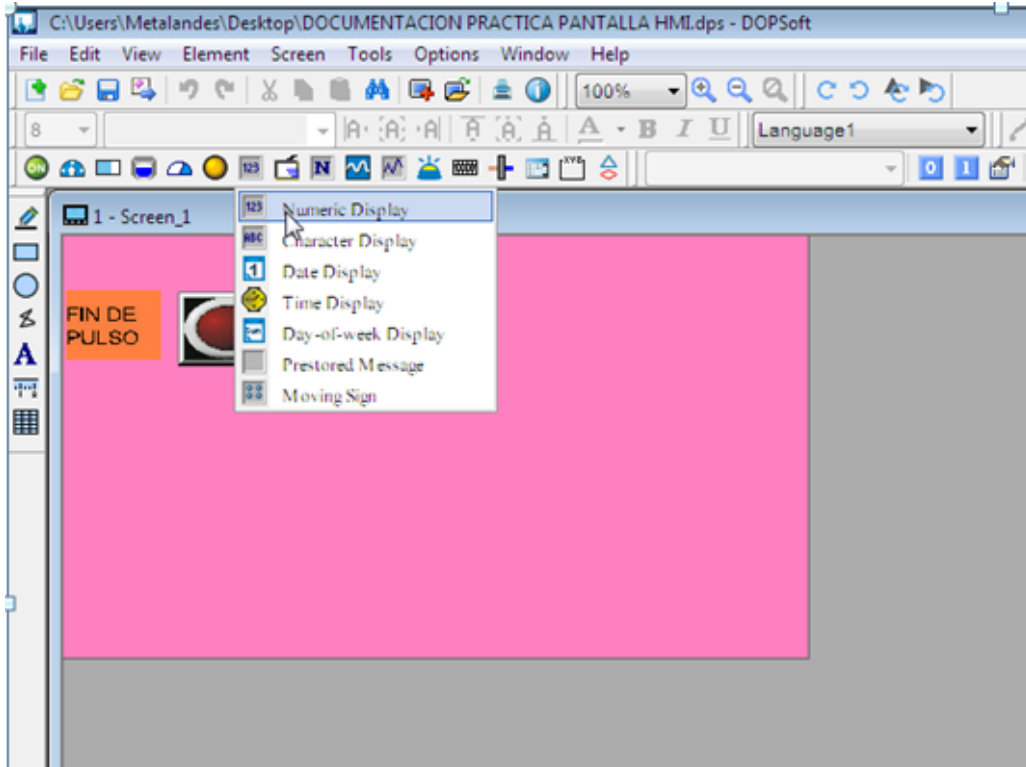
Figura 113 Inserción del display numérico



Fuente: Propia

Para la práctica actual se requiere configurar un display numérico, en donde se podrá observar el conteo de pulsos mientras el programa se encuentra en ejecución.

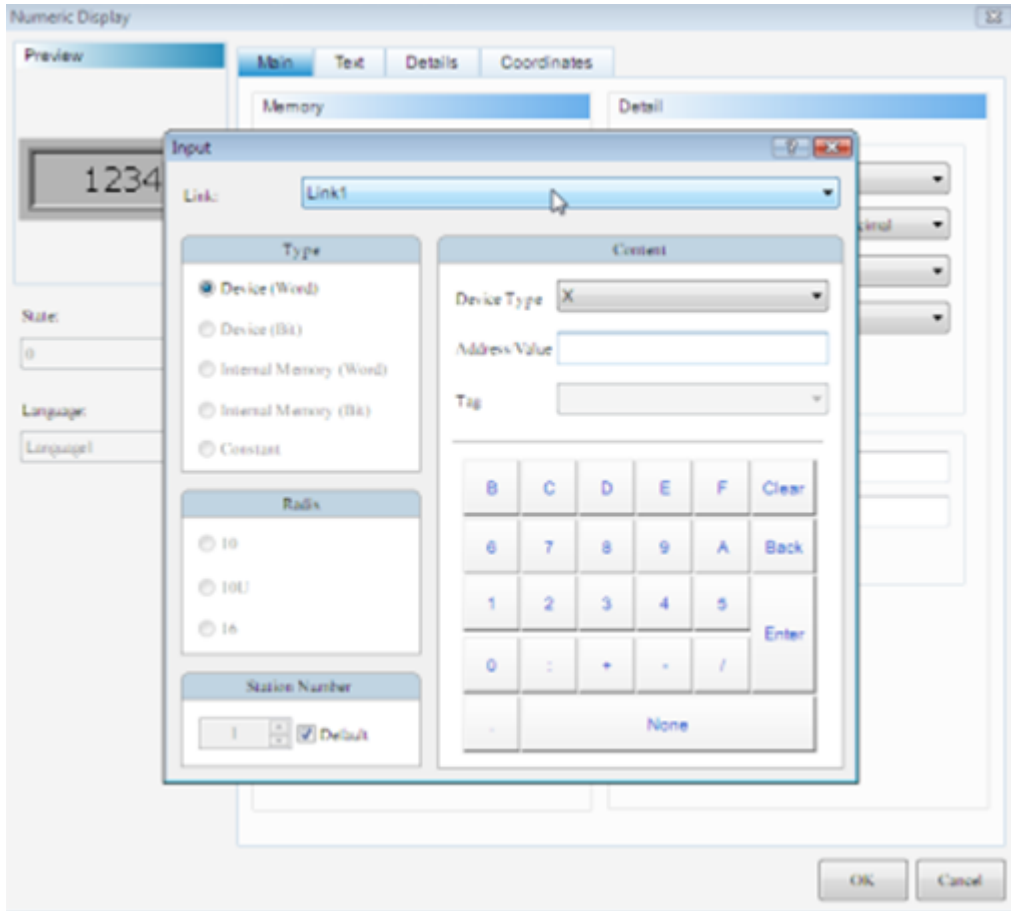
Figura 114 Instrucción



Fuente: Propia

Una vez seleccionado el comando se configura la instrucción.

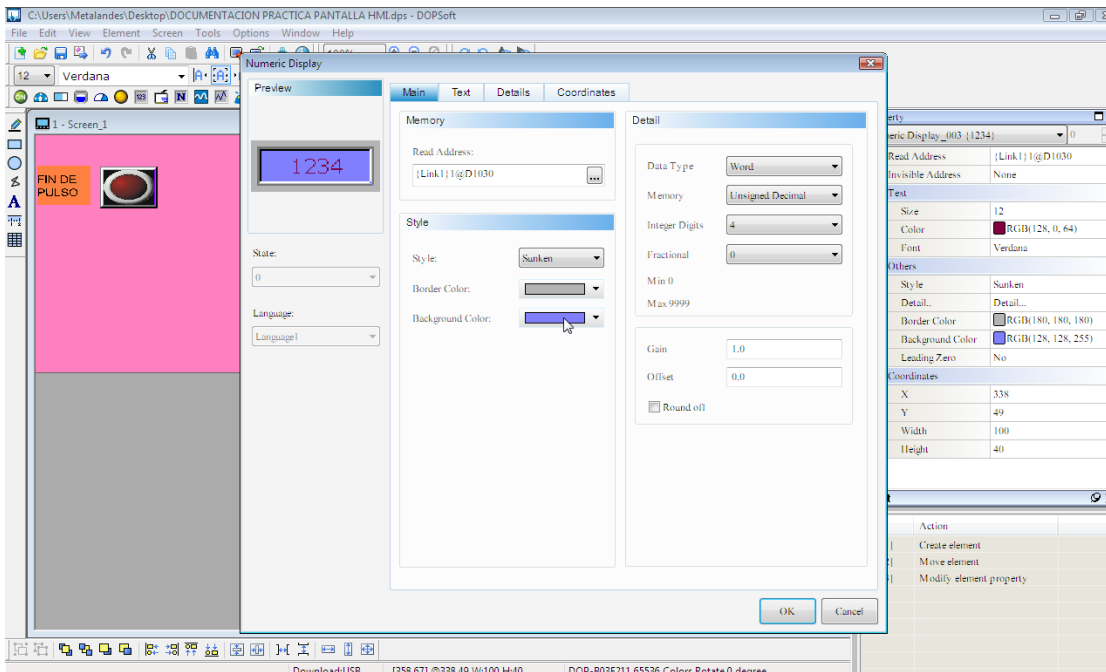
Figura 115 Fin de configuración display



Fuente: Propia

Luego de configurada la instrucción se da clic en aceptar para finalizar el proceso de adecuación del display.

Figura 116 Contador de pulsos

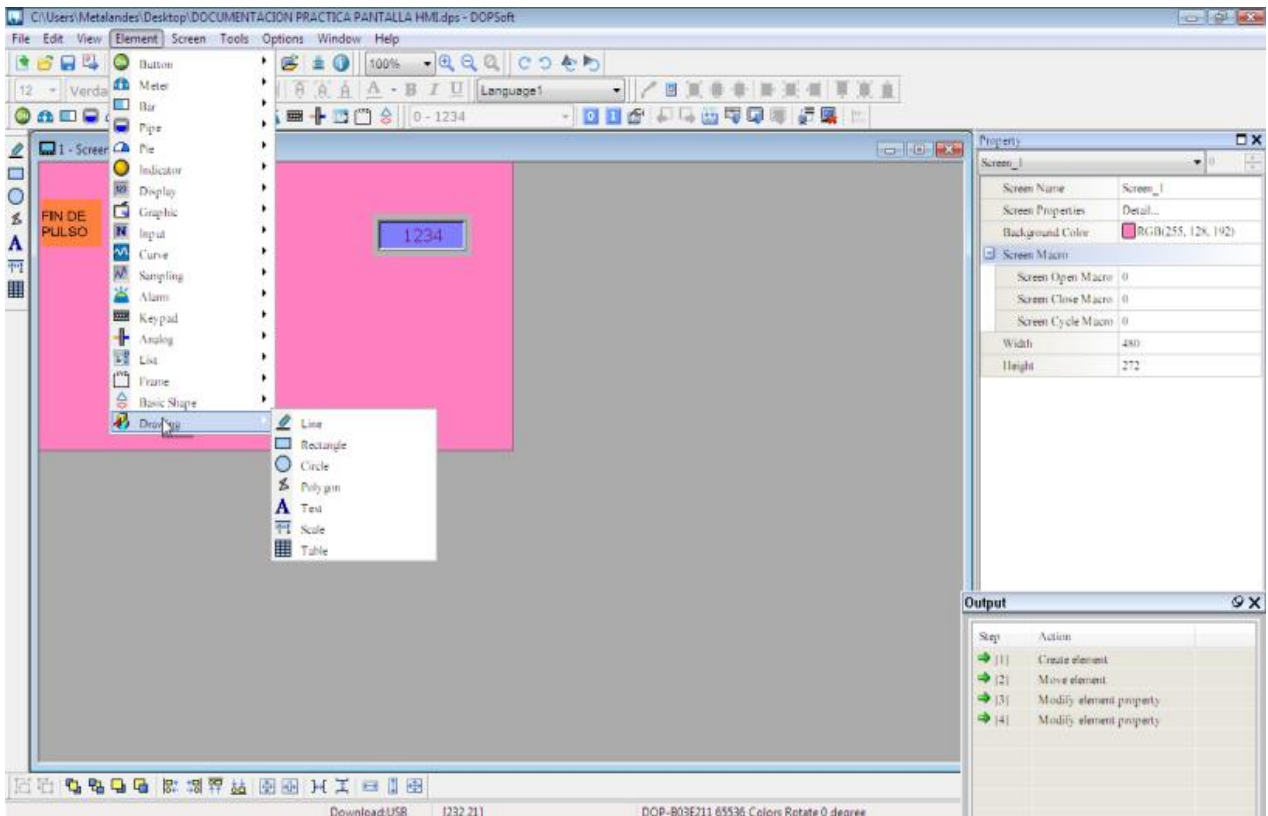


Fuente: Propia

Para el caso siguiente se utiliza un contador de pulsos, cuya denominación se da con la instrucción D1030 dirección dada el display numérico.

Seguidamente se muestra como se nombra la instrucción antes configurada.

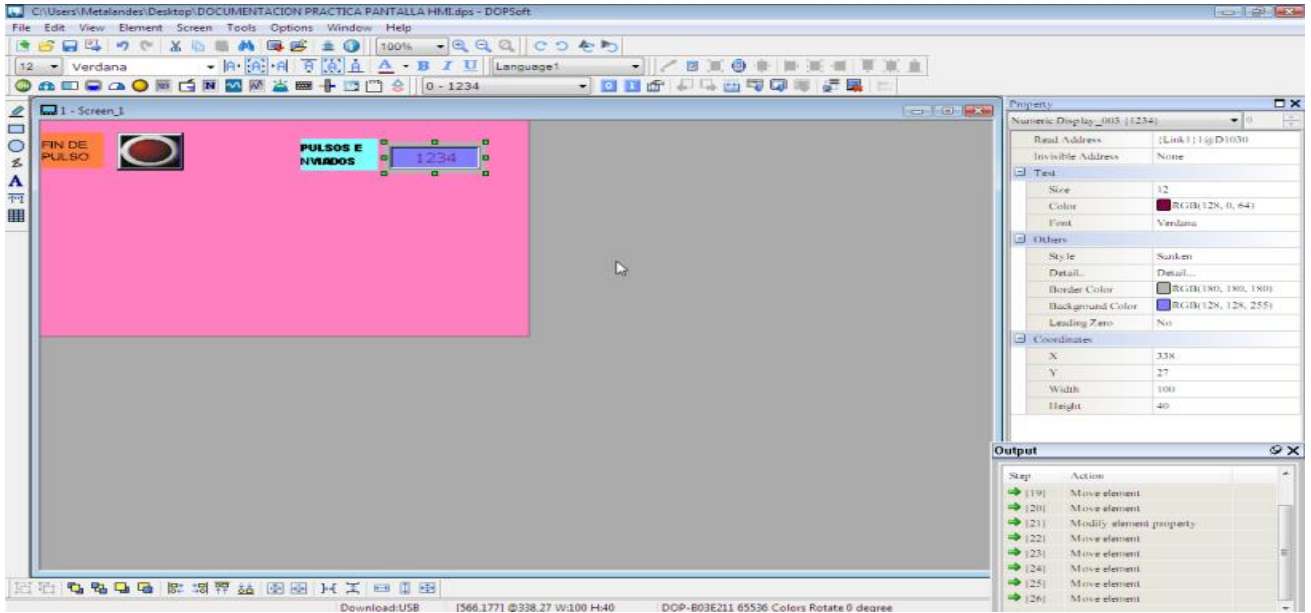
Figura 117 Nombre de la instrucción



Fuente: Propia

En esta imagen se muestra como ya se ha nombrado la instrucción y se procede de igual manera que en lenguaje de programación.

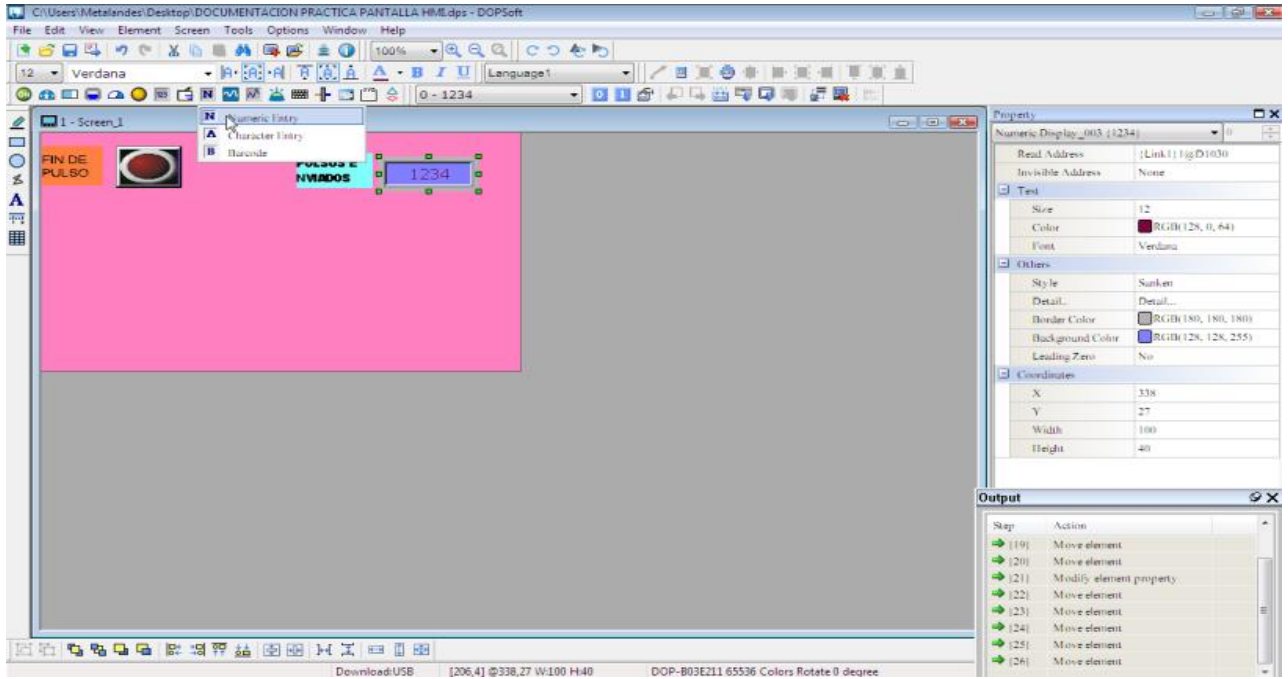
Figura 118 Instrucción de entrada de frecuencia



Fuente: Propia

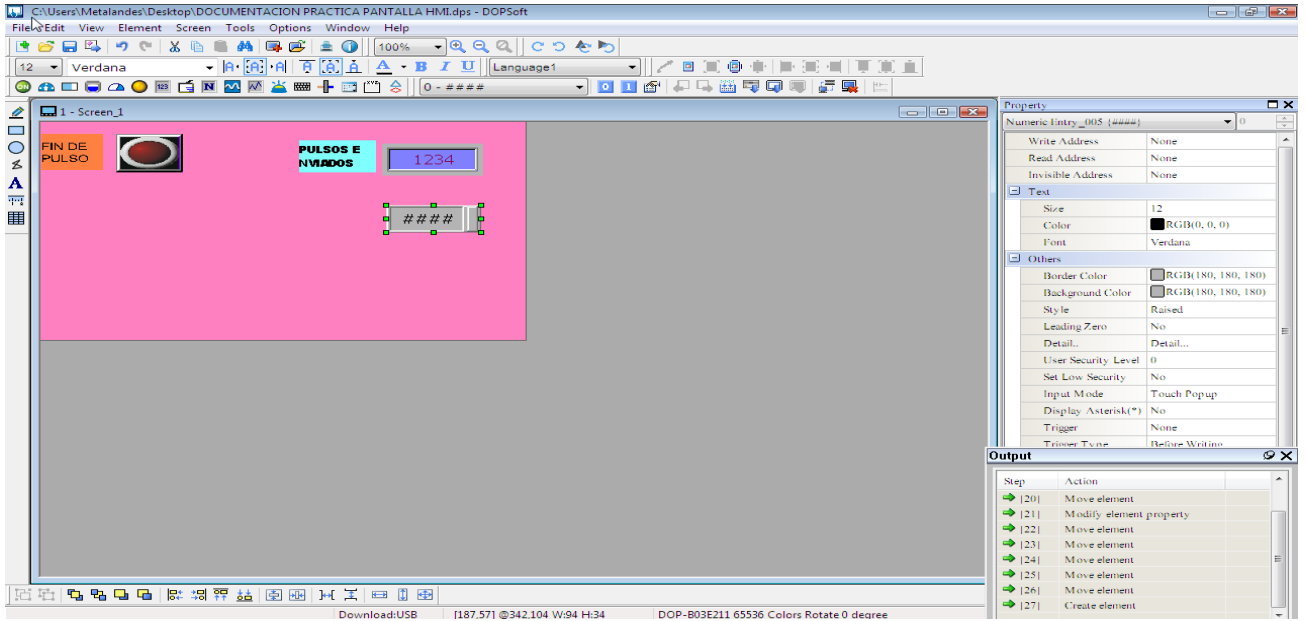
En las tres (3) imágenes siguientes se indica cómo se configurara la instrucción de entrada de datos referentes a la frecuencia, para este comando se necesita además la configuración de una entrada numérica.

Figura 119 Entrada numérica



Fuente: Propia

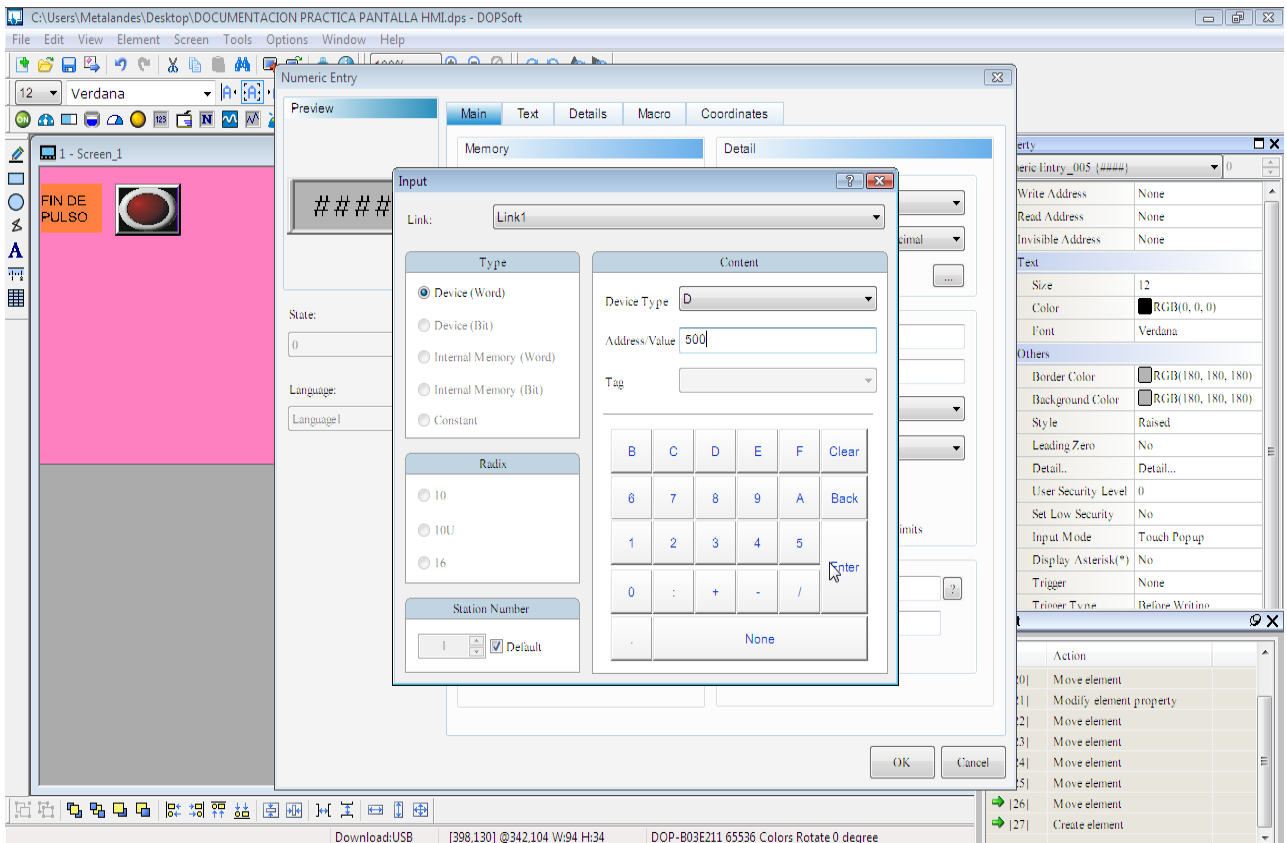
Figura 120 Configuración entrada numérica



Fuente: Propia

Ya configurada la entrada de frecuencia se pulsa "enter" para guardar lo realizado.

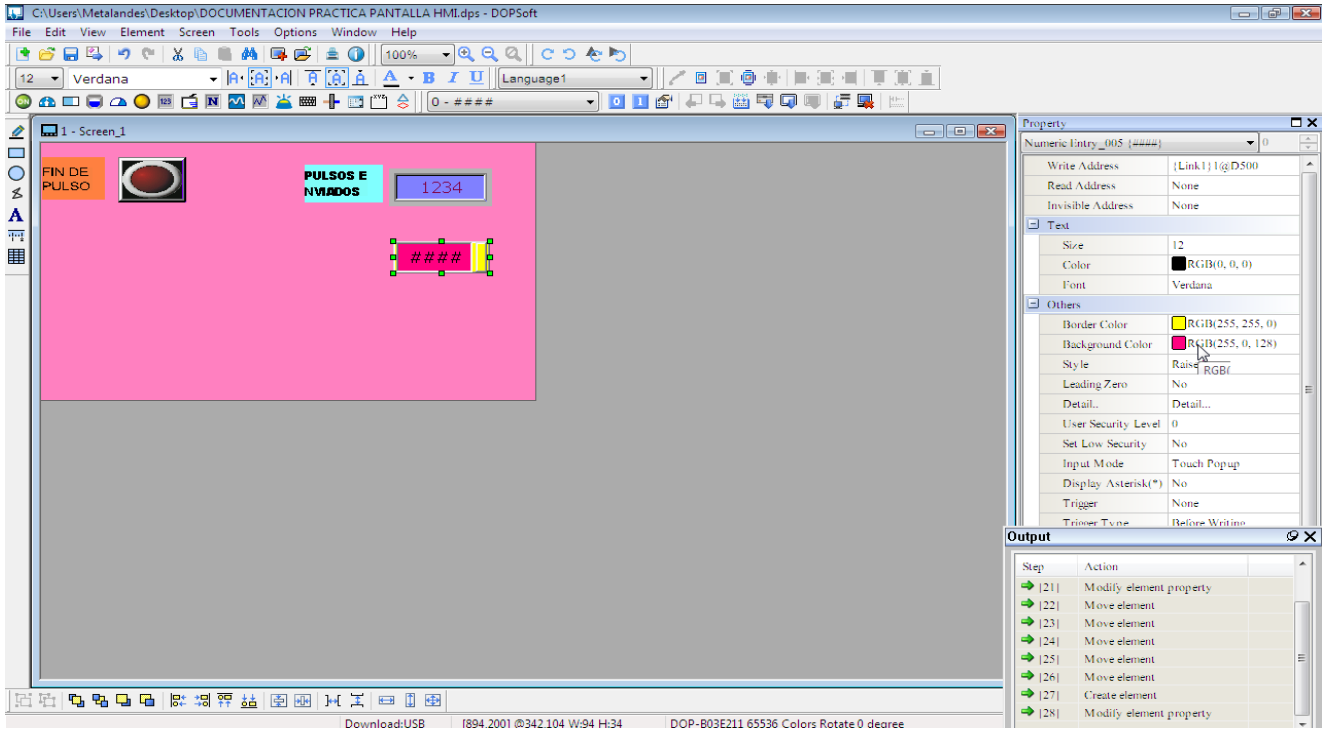
Figura 121 Color al comando configurado



Fuente: Propia

En este apartado se expone cómo se puede cambiar el color en el comando de la frecuencia ya nombrado.

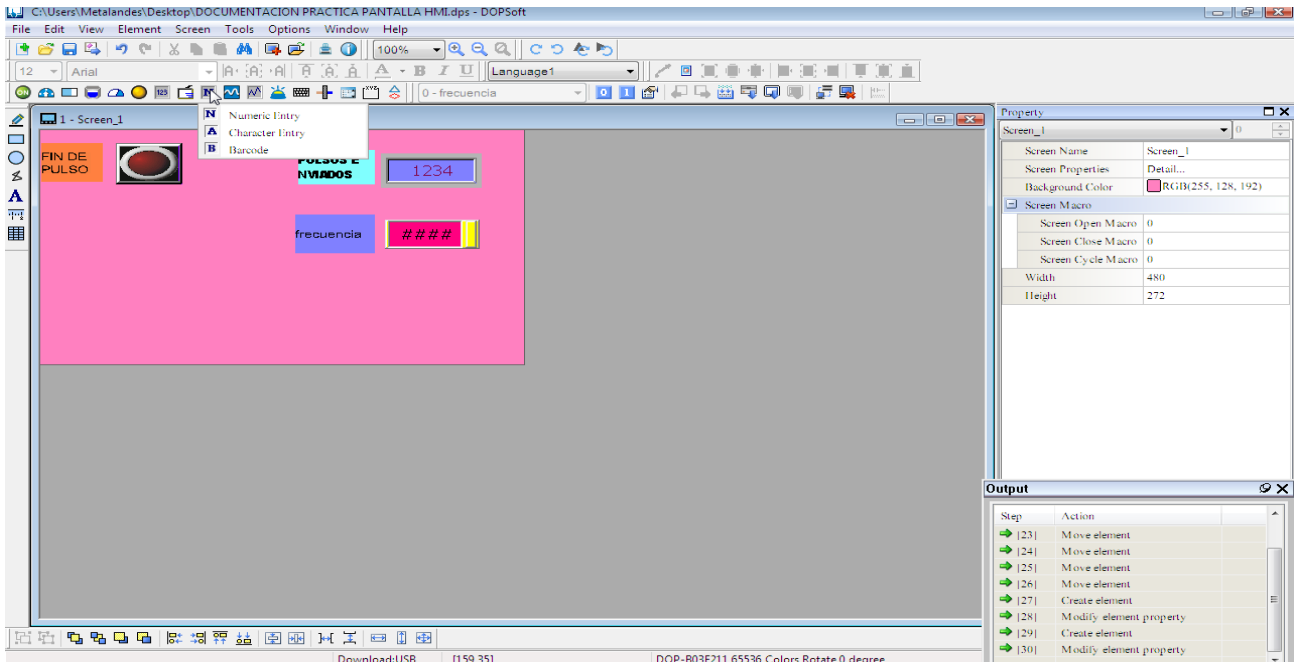
Figura 122 Número de pulsos



Fuente: Propia

El próximo paso será configurar otra instrucción de entrada numérica para realizar el conteo de entrada de pulsos, en el cual se le ingresa el rango o número de pulsos que se requiere registrar en relación con el número de giros del eje y a que frecuencia para determinar los pulsos de salida.

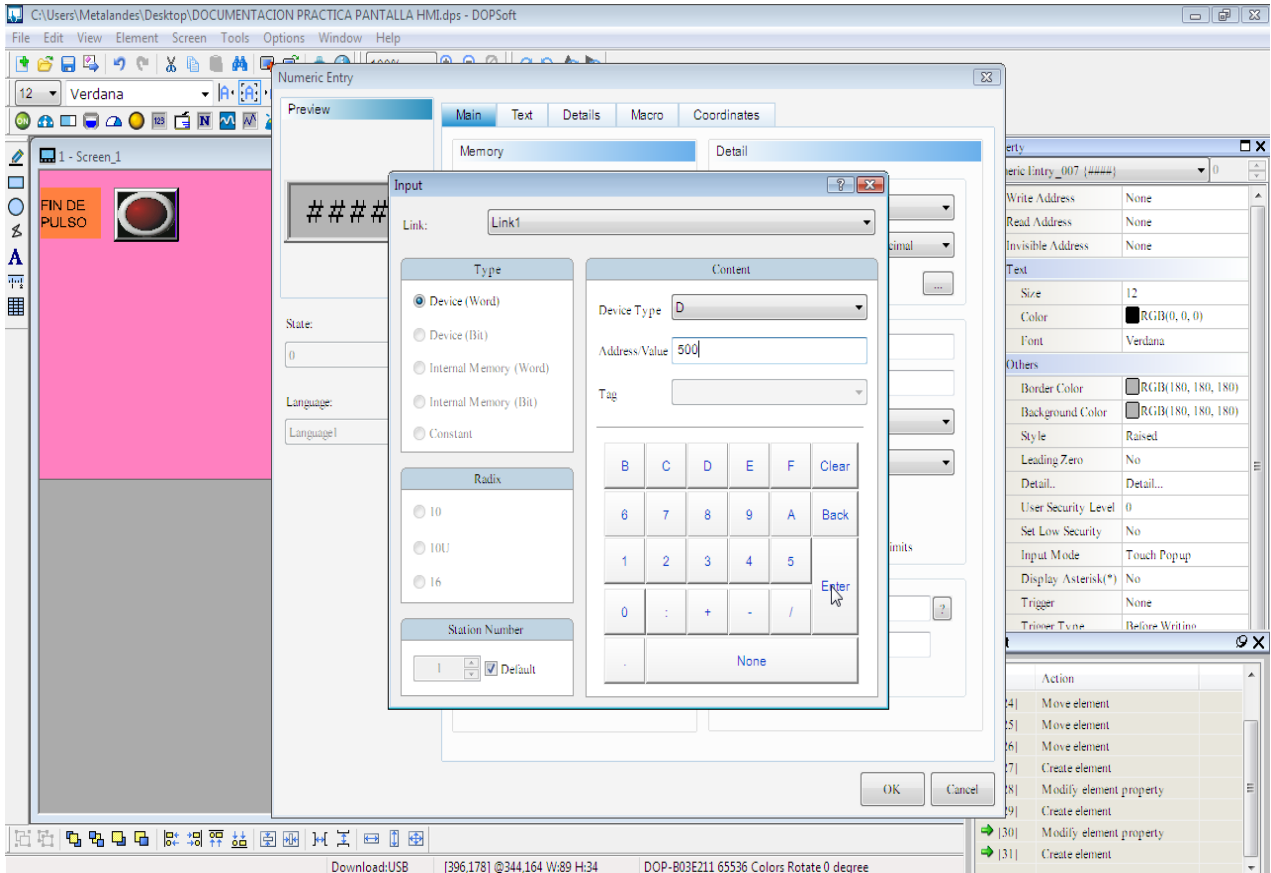
Figura 123 Número de pulsos configurados



Fuente: Propia

Seguidamente observamos cómo se configura el comando de la entrada de pulsos para la práctica que se realiza, teniendo en cuenta que para este caso es D500.

Figura 124 Botón de inicio

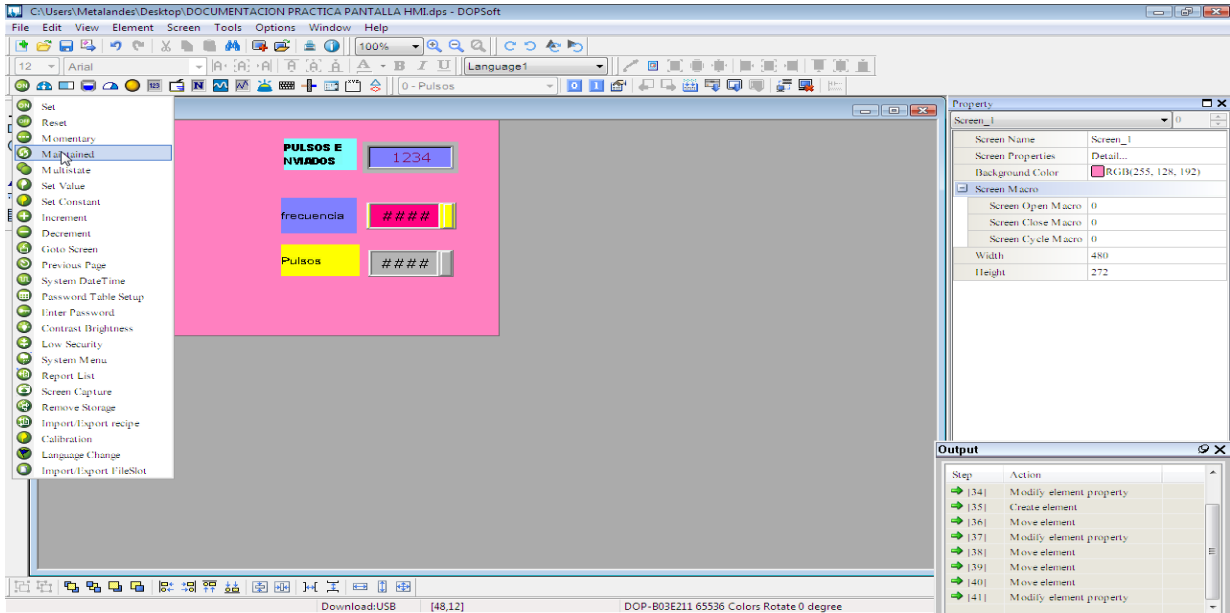


Fuente: Propia

Mostrando lo citado se evidencia como se configura el botón que dará inicio al programa.

En esta ventana se puede seleccionar la opción “maintened”, allí se selecciona el comando que dará la instrucción para encendido de conteo de los pulsos cargados al programa.

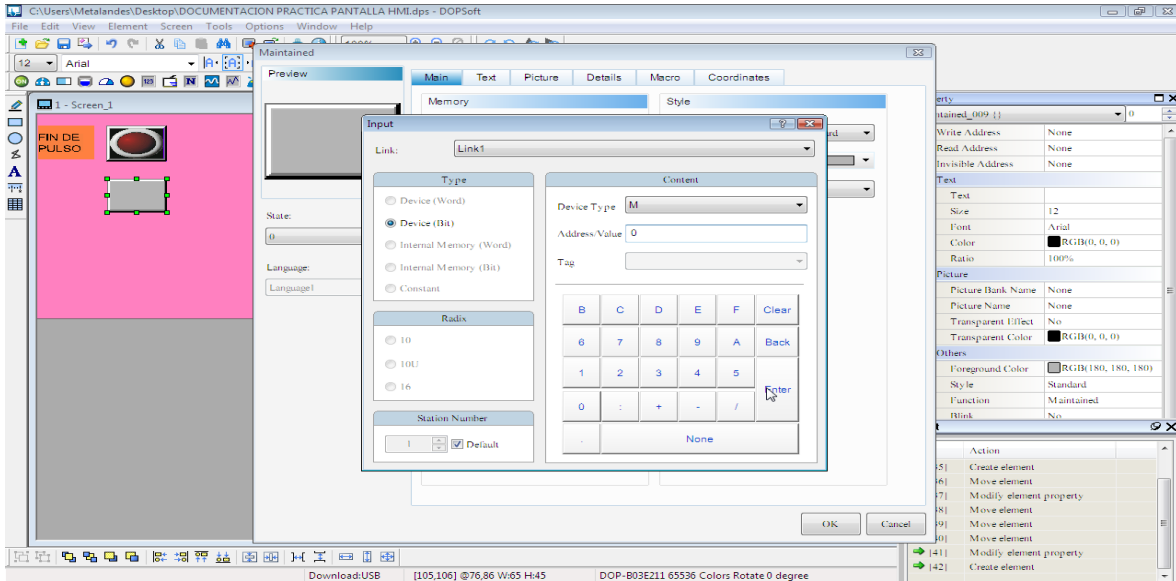
Figura 125 Nombre de comando



Fuente: Propia

Ya configurado el botón de encendido se presiona enter e inmediatamente se nombra el comando.

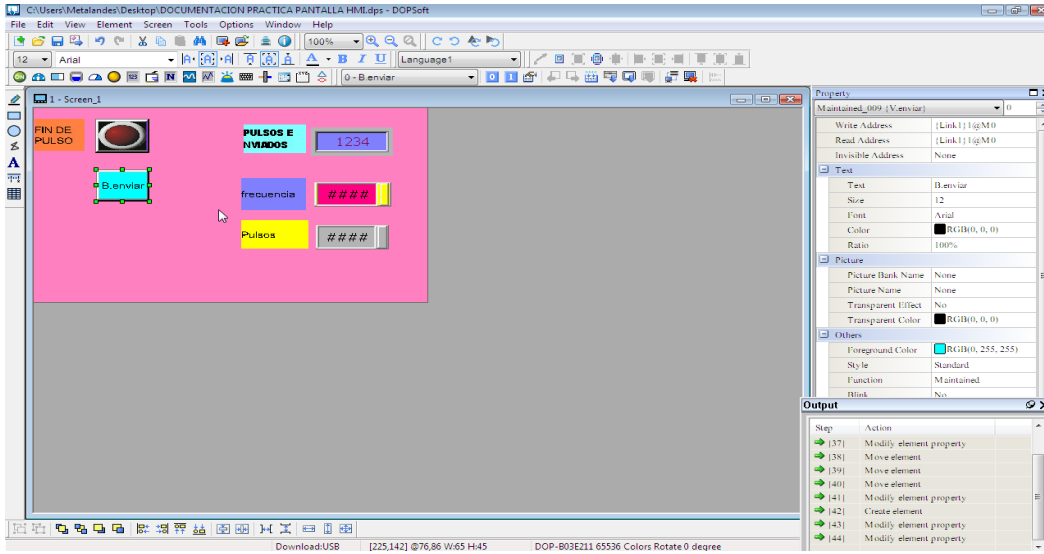
Figura 126 Entrada M1010



Fuente: Propia

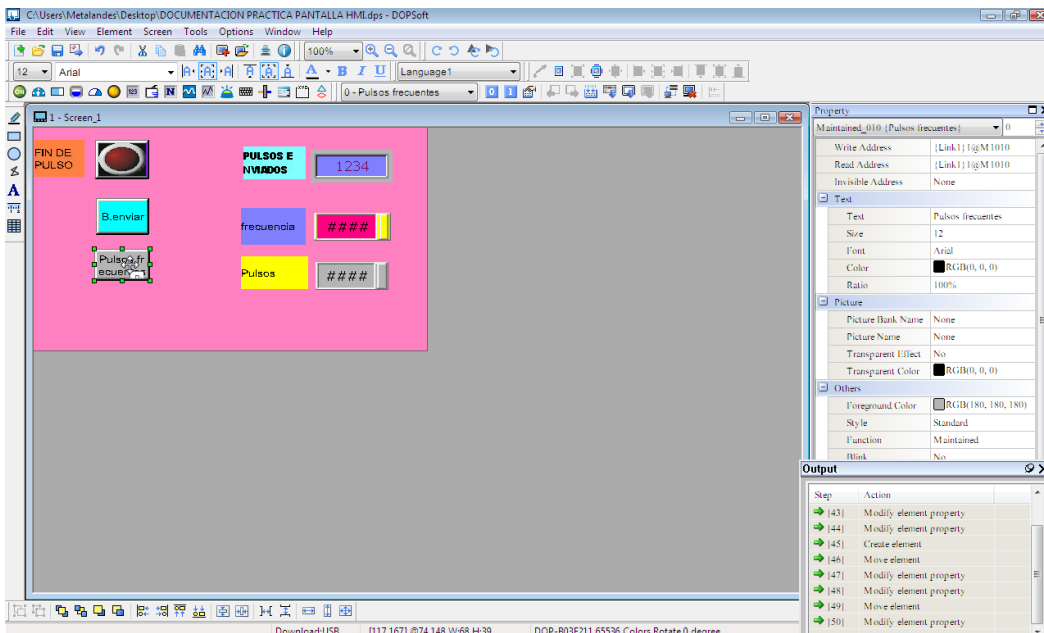
La imagen muestra el derrotero de configuración de la entrada denominada como dispositivo de salida de pulsos “M1010” para el caso del software usado.

Figura 127 Configuración de la entrada M1010



Fuente: Propia

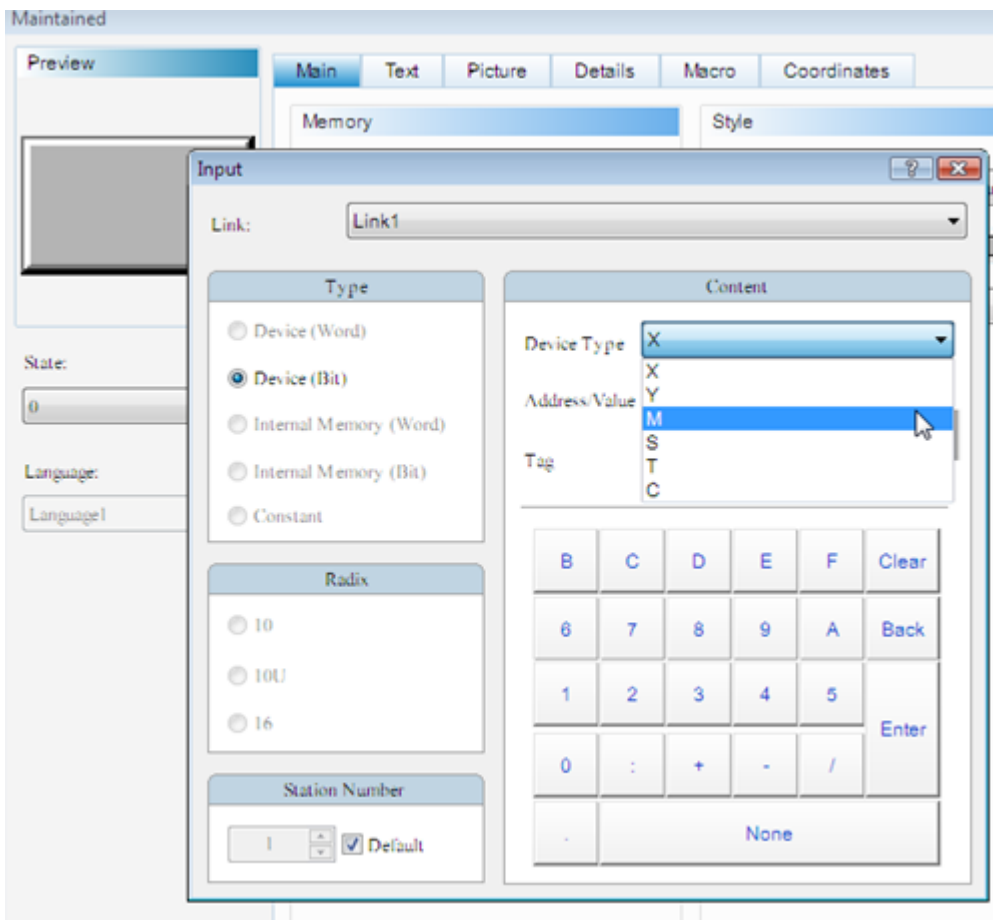
Figura 128 Botón pausa conteo



Fuente: Propia

Seguidamente se configurará la instrucción M1078, la que corresponde, para esta práctica, al botón de pausa para el conteo y registro de los pulsos.

Figura 129 Tamaño del botón

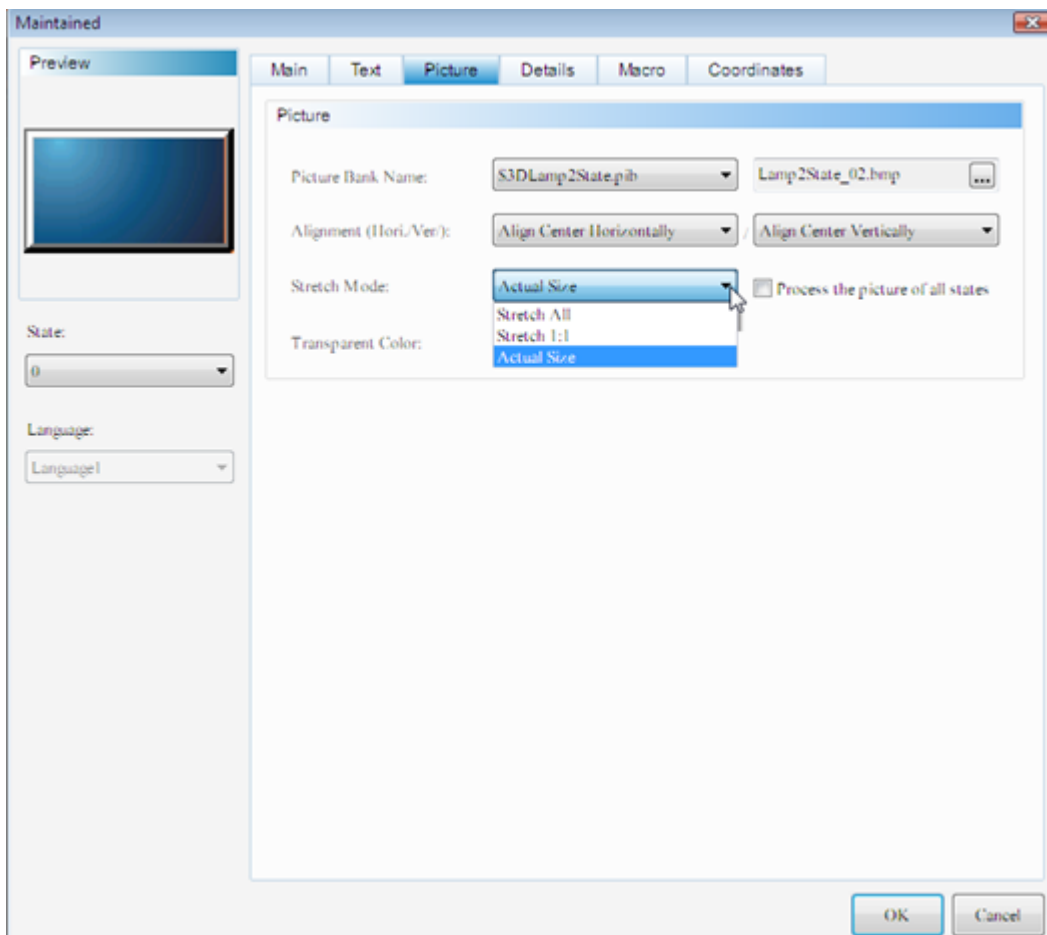


Fuente: Propia

Una vez introducida la dirección se procede a presionar enter para cargar la configuración al programa.

Luego observamos cómo se configura el tamaño físico del botón para el área de trabajo donde será ejecutada la práctica.

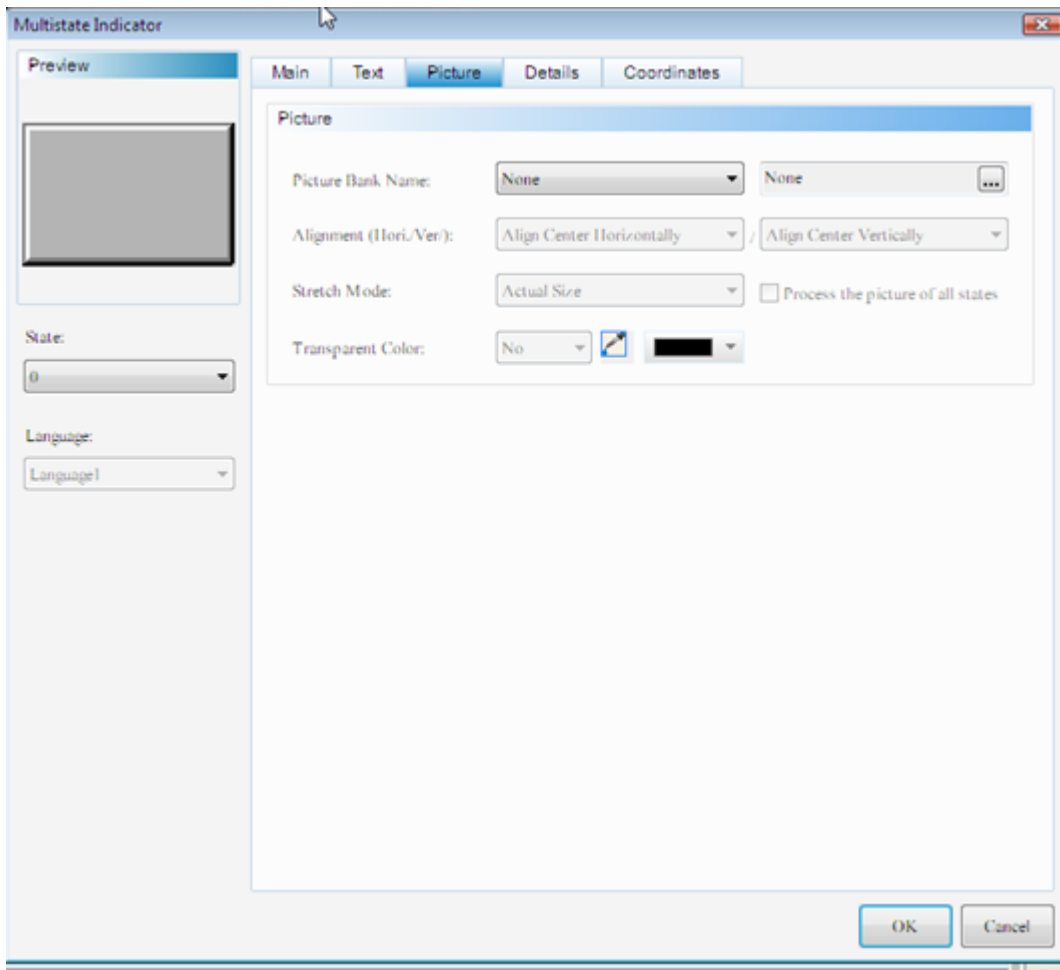
Figura 130 Entradas M11 y M13



Fuente: Propia

Continuando con el registro se configurarán las entradas correspondientes a las lámparas (M11 y M13), teniendo en cuenta que serán iguales con la opción del cambio de dirección.

Figura 131 Lámparas M11 y M13

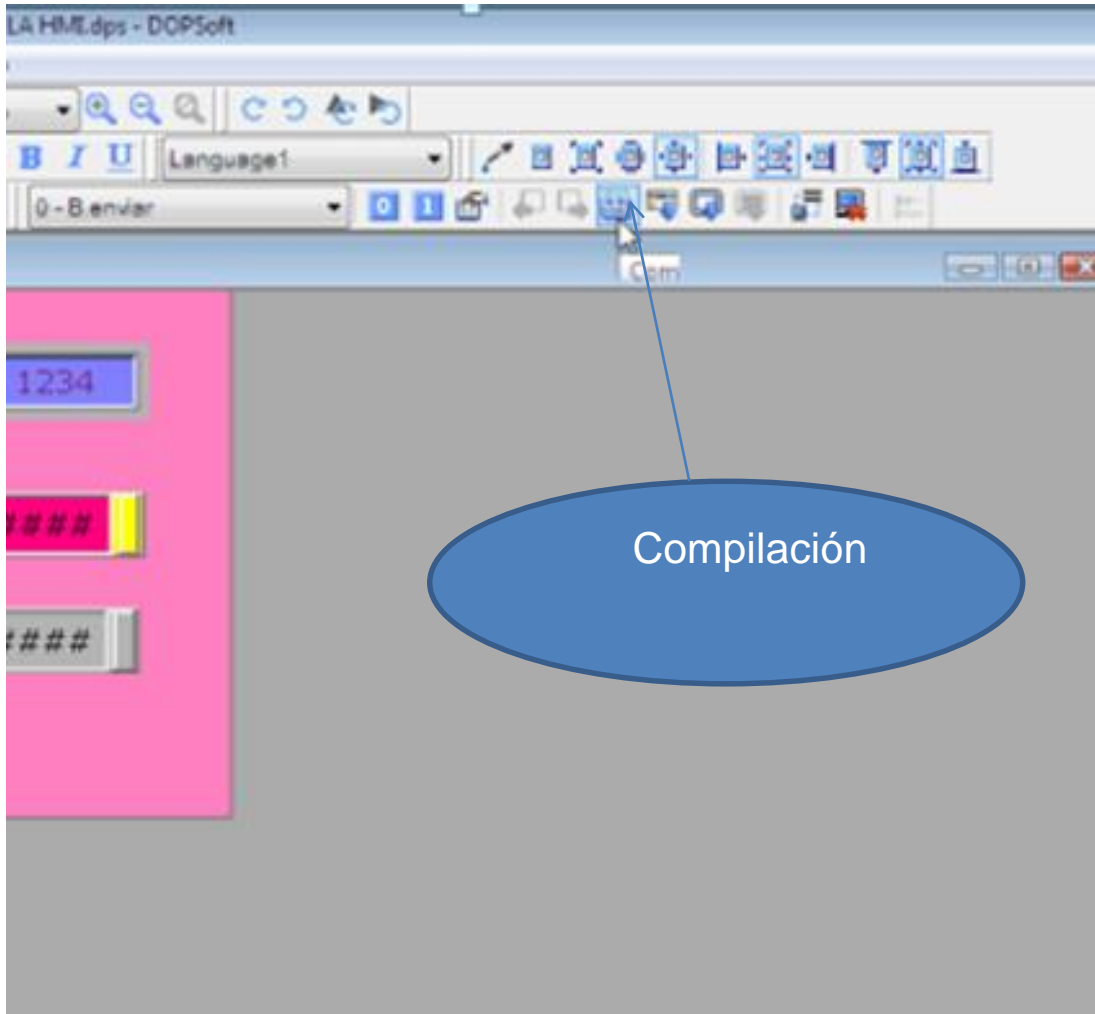


Fuente: Propia

Una vez terminada la configuración de todas las variables se procederá ejecutar a la compilación del programa, si hay algún error en la programación, el mismo software dará una alerta visible.

En las imágenes se visualizara como realizar la compilación del programa.

Figura 132 Compilación

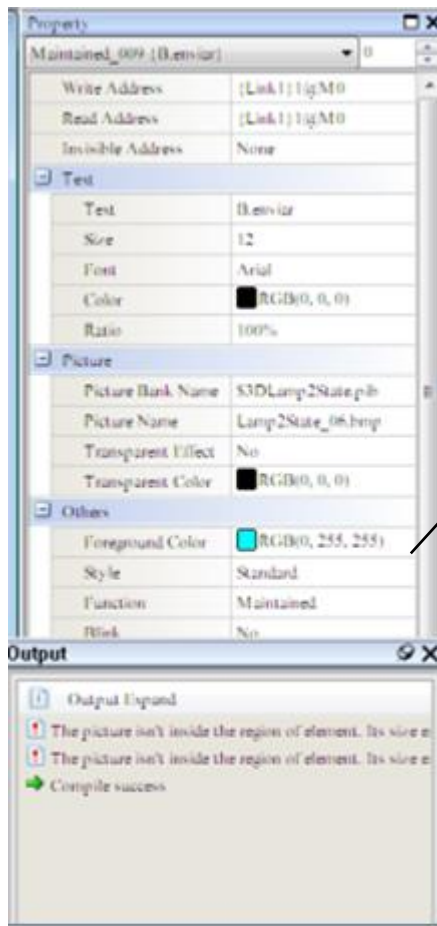


Fuente: Propia

Se pueden observar dos posibles ejemplos de errores ocasionados durante la configuración de las instrucciones y los cuales se alcanzan a detectar con la compilación del programa. Una de ellas podría ser “áreas demasiado grandes en espacios pequeños”.

Ejemplos errores de programación.

Figura 133 Corrección de errores

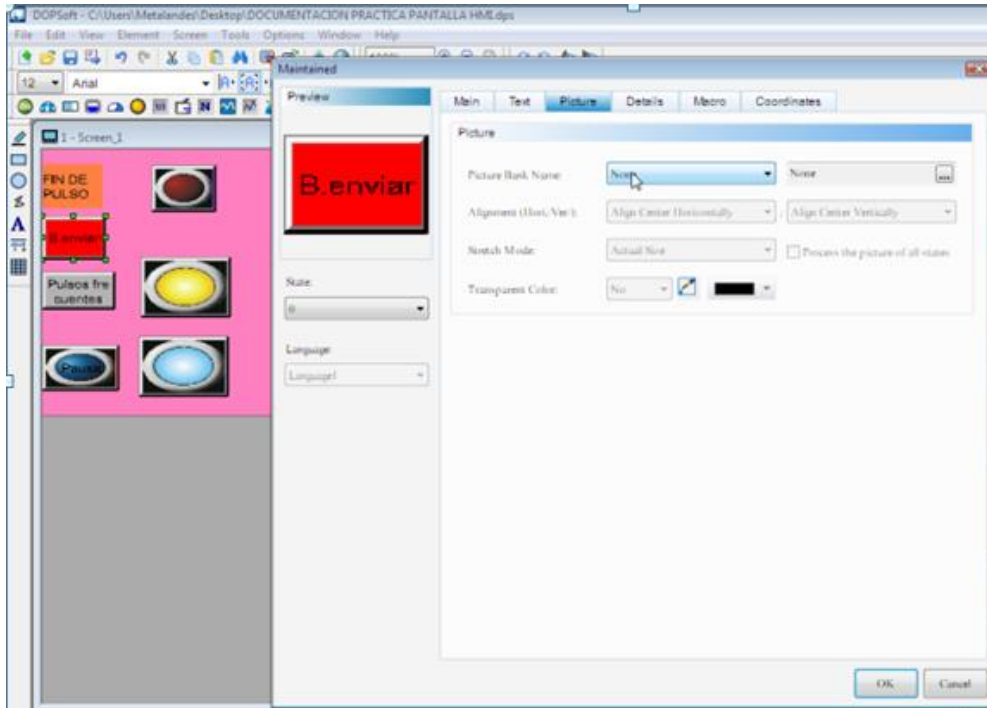


Aparecen dos errores al cargar el programa; se deben corregir y se debe tener en cuenta que esto no impedirá que el programa se pueda correr

Fuente: Propia

Continuando con la figura se muestra cómo se pueden corregir los errores mostrados por el programa después de la compilación.

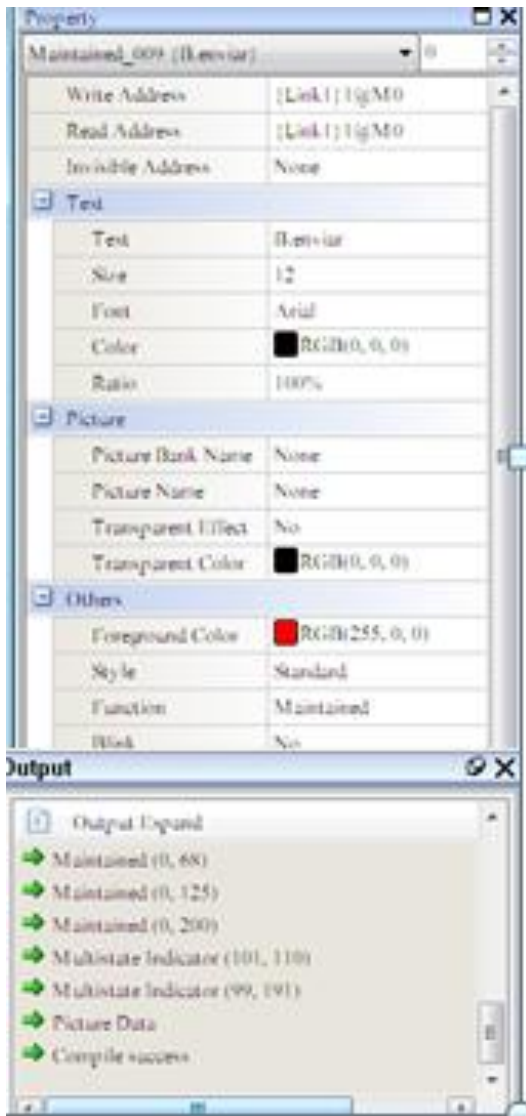
Figura 134 Errores corregidos



Fuente: Propia

Es claro el ejemplo de cómo corregir uno de los posibles errores, considerando que para este caso se deben suprimir los botones que se habían seleccionado y se eliminan todas las selecciones determinadas.

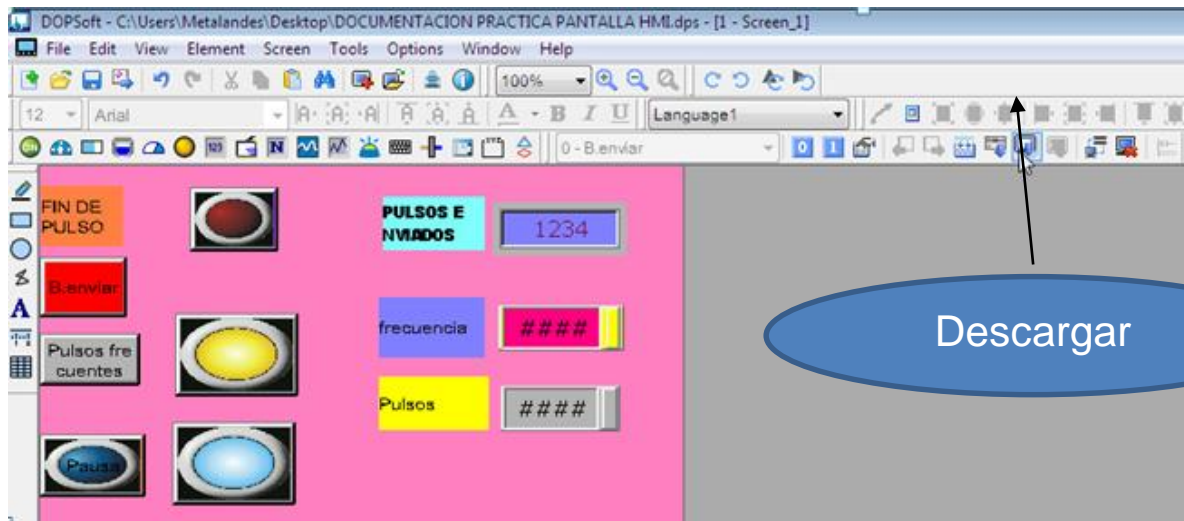
Figura 135 Ventana de ayuda



Fuente: Propia

Una vez corregidos todos los errores el programa está listo para descargarlo al PLC, para lo cual se puede evidenciar en la imagen siguiente el icono que se debe seleccionar para realizar la descarga del programa a la pantalla y al PLC.

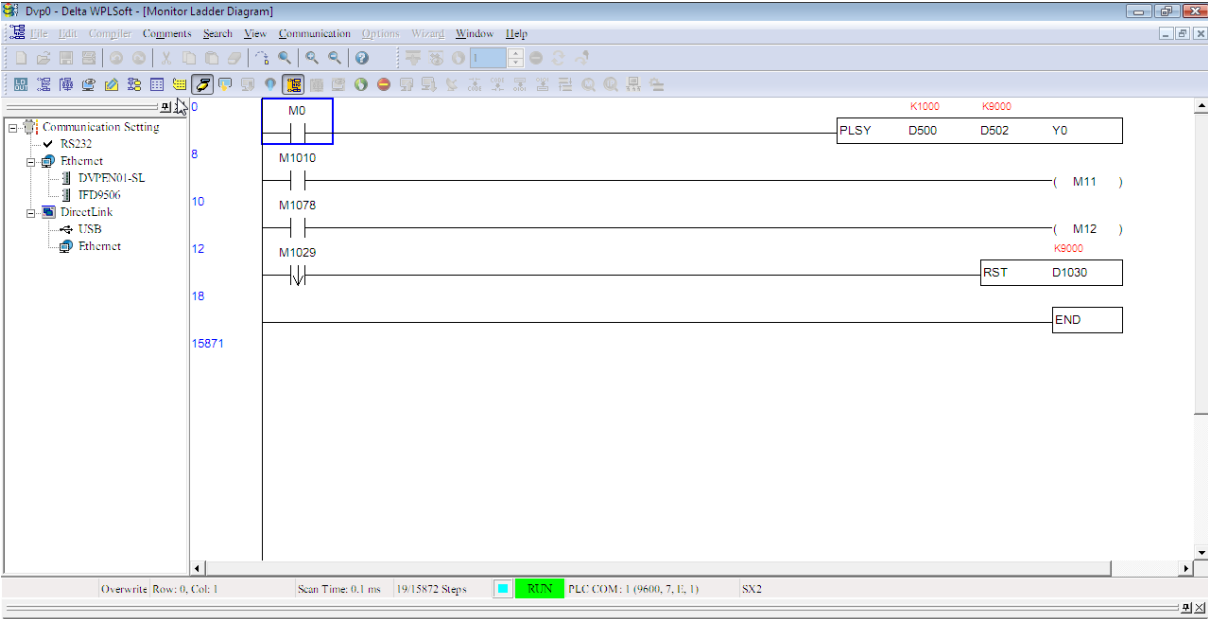
Figura 136 Descarga de programa



Fuente: Propia

Ahora pondremos en línea la programación que tenemos en el PLC para controlar y ver en línea el funcionamiento, donde se tiene la visualización de las funciones configuradas y las que se podrán modificar desde la pantalla.

Figura 137 Programa en línea



Fuente: Propia

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La maquinaria con servomotores tiene tiempos de posicionamiento menores debido a que el torque del servomotor, puede funcionar 350 por ciento más rápido que su valor nominal (preestablecido) para alcanzar la velocidad de posicionamiento de la máquina en menor tiempo. Esto hace que pueda tener más arranques/pares por minuto, lo que se deriva en mayor productividad.

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

Es pertinente explicar entonces que un servomotor en su definición más básica, es un motor que puede ser controlado en su velocidad de funcionamiento y en la posición dentro de un rango de operación para ejecutar la actividad requerida. Este control es realizado mediante un dispositivo llamado encoder, que mediante una señal electrónicamente codificada, indica las acciones de velocidad y movimiento a ejecutar. El servomotor es instalado en un equipo o máquina, para permitir que esta tenga control de la posición, dirección y velocidad de una carga o herramienta mediante su utilización.

En la actualidad, los servomotores utilizados son de corriente alterna. Este tipo de servomotores admite voltajes más altos, por lo que son ideales para las potencias requeridas por las máquinas al momento de desempeñar el proceso solicitado.

El sistema servo se comunica mediante pulsos eléctricos a través de un circuito de control para determinar el ángulo de posición del motor, “el servo espera recibir un pulso cada 20 milisegundos (0.02 segundos). La longitud del pulso determinará los

giros de motor; un pulso de 1.5 ms., por ejemplo, hará que el motor vaya a una posición de 90 grados (posición neutra). Si el pulso es menor de 1.5 ms., entonces el motor se acercará a los 0 grados. Si el pulso es mayor de 1.5ms, el eje se moverá acercándose a los 180 grados. (Sepúlveda lozano).

El control del servomotor se puede realizar mediante un servodriver el cual trabaja en lazo cerrado, o mediante una tarjeta posicionadora colocada en un PLC, entonces se trabaja en lazo abierto.

El tiempo o la frecuencia del pulso determinan la posición del servo. Cada servo tiene su propia gama de frecuencias, dado por el fabricante en la ficha técnica. La figura 61 muestra los valores en 1 y 2 ms. (Ramos, 2012).

Los servomotores se diseñan para brindar un tamaño optimizado de torque por conjunto y mejorar la relación entre par fuerza e inercia. Presentan características lineales y capacidad máxima de sobrecarga de 200 a 400% como se muestra en la figura 62, además de las propiedades de diseño enumeradas ofrecen la mayor rapidez de aceleración y posicionamiento.

Los servos ofrecen arranques y paradas rápidas así como un posicionamiento exacto. (Mazurkiewicz, 2004)

La tecnología de servo sin escobillas incluye asimismo una mayor capacidad en velocidades, torques máximos más altos en un conjunto más pequeño, inercias mucho menores y por consiguiente, una capacidad de aceleración más rápida, desde luego, una duración prolongada y confiable, libre de mantenimiento en sus aplicaciones. Por este motivo se utilizan en robótica, embalajes, ensambles electrónicos, equipos de semiconductores, textiles, corte, impresión, etiquetas y muchas otras aplicaciones de los servomotores.

CONCLUSIONES

La metodología expuesta es independiente de la curva de la carga requerida por el receptor y de los parámetros específicos del servomotor, permitiendo recolectar la información contenida en diversos catálogos de actuadores, y en particular la energía cinética y la potencia transitoria de cada motor.

Se ha estudiado una aplicación industrial concreta mediante la aplicación del procedimiento descrito, seleccionando un servomotor acorde con los requerimientos del sistema y un husillo de bolas comercial para la transmisión. A modo de sugerencia final, se propone analizar casos prácticos que incluyan leyes de movimiento triangular y diferentes configuraciones de movimiento trapezoidal.

El servomotor es un actuador mecánico en cualquier sistema de servomecanismo que tiene por objeto llevar al sistema a una lectura cero, reduciendo a cero la señal de error. Existen dos tipos de servomotores: de corriente directa y de corriente alterna.

Sus características fundamentales para DC y CA son dos, la primera radica en que el par de salida del motor sea aproximadamente proporcional a su voltaje de control aplicado, y la segunda se basa en el hecho de que la dirección del par este determinada por la polaridad instantánea del voltaje de control.

RECOMENDACIONES

Mejorar la parte de seguridad industrial, con respecto al sistema de puesta a tierra de los módulos para evitar posibles lesiones a las personas y daños en los equipos.

Los equipos empleados en la implementación de los módulos servomotores son de última tecnología, por lo que se requiere un especial cuidado para poder aprovechar al máximo su versatilidad y eficiencia en el desarrollo de prácticas futuras.

Es de mucha importancia que la Institución Universitaria Pascual Bravo enfoque a sus estudiantes de ingeniería eléctrica, electrónica y afines, la implementación de nuevas ideas que permitan el mejoramiento continuo de los módulos servomotores.

Se deben desarrollar proyectos que permitan que en los módulos servomotores se ejecuten comandos con entradas y salidas digitales.

Bibliografía

(s.f.).

Servomotor. (14 de 02 de 2013). Recuperado el 25 de 11 de 2014, de YASKAWA:
<https://www.yaskawa.com/>

Servomecanismo. (03 de 04 de 2014). Recuperado el 25 de 11 de 2014, de WIKIPEDIA La enciclopedia libre:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Servomecanismo>

Carletty, E. J. (2007). Motores paso a paso. *Robots Argentina*, 31-32-33.

Cobo, R. (2010). *SERVOMOTORES.* Recuperado el 25 de 11 de 2014, de ABC DE LA AUTOMATIZACIÓN:
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>

Coches. (2010). <http://www.cochesrc.com/motor-electrico-brushless-funcionamiento-y-caracteristicas-a3607.html>. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de <http://www.cochesrc.com/motor-electrico-brushless-funcionamiento-y-caracteristicas-a3607.html>

CORPORATION, Y. E. (1995). *Yaskawa.* Obtenido de <http://www.yaskawa.eu.com/es/drives-motion/servomotores-ca/servomotores-ac-serie-sigma-5/descripcion.html>

D.E.G, J. (15 de Mayo de 2014). *Protocolo RS232.* Recuperado el 06 de Abril de 2015, de <http://juandeg.tripod.com/rs232.htm>

Delta Electronics, I. (2008). *Manual de operación.* Recuperado el 2015, de www.delta.com.tw/industrialautomation

Etitudela. (2015). *Servoaccionamientos (Control de ejes).* Recuperado el 2015, de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/servoaccionamientos.pdf>

Hector Fabio Quintero, G. C. (24 de Diciembre de 2003). Recuperado el 27 de abril de 2015

ibaindustrial. (2014). <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-encoder/>. Recuperado el 21 de Marzo de 2015, de <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-encoder/>

- Kosow, I. L. (1 de mayo de 1993). *Control de servomotores Wikipedia*. Recuperado el 26 de enero de 2011, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor>
- Lozano, C. E. (2008). *Servomotores*. Obtenido de Maquinaria Servo: http://www.metalactual.com/revista/25/maquinaria_servo.pdf
- Marketsandmarkers. (2013). *Marketsandmarkers*. Obtenido de <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/servo-motors-and-drives-market-1127.html>
- Mazurkiewicz, J. (12 de 2004). *Mejores sus procesos*. Recuperado el 09 de 12 de 3014, de [elempaque.com: http://www.elempaque.com/temas/mejore-sus-procesos-de-manufacturas](http://www.elempaque.com/temas/mejore-sus-procesos-de-manufacturas)
- Molinari, N. (2005). *Curso sobre controladores lógicos programables*. Obtenido de <http://www.todopic.com.ar/utiles/PLC>
- Orientalmotor. (23 de octubre de 2015). *Servomotor, glosary and terms*. Recuperado el 26 de marzo de 2015, de <http://www.orientalmotor.com/technology/articles/servo-motor-glossary.html>
- Pérez, E. L. (S.F). *Ingeniería en Microcontroladores*. Recuperado el 06 de Abril de 2015, de <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/rs-485.pdf>
- Ramos, C. A. (20 de 12 de 2012). *Control de servomotores con PWM*. Recuperado el 09 de 12 de 2014, de <http://www.codeproject.com/Article/513169/servomotor-control-with-PWM-and-VHDL>
- SA, P. R. (s.f.). *PROELECTRICOS*. Obtenido de <http://www.proelectrico.com/web/files/catalogo/lista-de-precios-proelectrico-Mayo-2014.pdf>
- Sepúlveda lozano, C. E. (s.f.). Maquinaria . *Metal Actual*, 34-35.
- SIEMENS. (2005). *Controlador lógico programable*. Recuperado el 2015, de <http://patentados.com/invento/metodo-sistema-y-aparato-para-un-controlador-logico-programable.html>

Tendencias. (28 de febrero de 1988). *Tendencias21*. Recuperado el 14 de diciembre de 2014, de http://www.tendencias21.net/Los-Cambios-en-la-Cuota-de-Mercado-de-Proveedores-Servo-en-la-Industria-de-la-Maquinaria-Alemana-durante-15-anos_a36527.html

Voss, W. (2007). *Una guía comprensible para Servo Motor Dimensionamiento*. Recuperado el 26 de 11 de 2014, de Copperhil Technologies Corporation: <http://www.copperhilltech.com>

Yaskawa, E. C. (marzo de 2010). *JUNMA Series Instruction*. Recuperado el 25 de marzo de 2015, de www.yaskawa.com