



**Manual de prácticas del Laboratorio de Controladores Industriales Programables**

Código:	MADO-71
Versión:	04
Página:	1/31
Sección ISO:	8.3
Fecha de emisión:	13 de septiembre de 2019

HM

Facultad de Ingeniería

Área/Departamento: Laboratorio de Automatización

La impresión de este documento es una copia no controlada

# Manual de prácticas del laboratorio de Controladores Industriales Programables

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por	Vigente desde:
Dr. Hoover Mujica Ortega Mtra. Gloria Correa Palacios Ing. Jorge Calderón Mendoza	Dr. Hoover Mujica Ortega Mtra. Gloria Correa Palacios Ing. Jorge Calderón Mendoza	Dr. Paul R. Maya Ortiz	13 de septiembre de 2019



**Manual de prácticas del Laboratorio de  
Controladores Industriales Programables**

Código:	MADO-71
Versión:	04
Página:	2/31
Sección ISO:	8.3
Fecha de emisión:	13 de septiembre de 2019

HM

Facultad de Ingeniería

Área/Departamento: Laboratorio de Automatización

La impresión de este documento es una copia no controlada

## Índice de prácticas

<b>Práctica 1.</b> Temporizadores .....	3
<b>Práctica 2.</b> Contadores .....	9
<b>Práctica 3.</b> Comparadores .....	14
<b>Práctica 4.</b> Funciones avanzadas Parte I .....	19
<b>Práctica 5.</b> Funciones avanzadas Parte II .....	26





## I. Objetivos

- ☞ Identificar las instrucciones de temporización TON, TOF, RTO y RES disponibles en el controlador SLC 5/04 AB.
- ☞ Implementar y evaluar rutinas de control donde se involucren instrucciones de temporización.

## II. Recursos





### 1. Software

- Microsoft Windows 10 Pro.
- RSLinx Classic Gateway v4.30.
- RSLogix 500 v12.01.
- RSLogix Emulate 500 v6.00.

### 2. Equipos, instrumentos, herramientas y accesorios

- Computadora Intel Core i9-10900K 5.3GHz, 16GB RAM.
- Controlador Allen-Bradley SLC 5/04 1747-L541C 16K Mem. Series C FRN 3-8.
- Convertidor USB a RS-232C.
- Cable de comunicación null-modem Allen-Bradley 1747-CP3.
- Botonera industrial Allen-Bradley 80FC-7Z.

## III. Seguridad en la ejecución de la actividad

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control	Verificación
1 <sup>ro</sup>	Voltaje alterno 	Electrocución 	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto	
2 <sup>do</sup>	Voltaje continuo 	Daño a equipo 	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo	
Apellidos y nombres:				

## IV. Fundamento teórico

Un temporizador es una instrucción de salida, la cual puede ser controlada por un intervalo de tiempo predefinido. Existen tres tipos de temporizadores; con retardo a la activación TON (*Timer On-delay*), retardo a la desactivación TOF (*Timer Off-delay*) y retardo a la conexión retentivo RTO (*Retentive Timer On-delay*). Estas instrucciones requieren de 3 registros de 16 bits (*Word*) para su funcionamiento.

**Direccionamiento.-** El direccionamiento de las instrucciones de temporización se da a nivel de elemento, a nivel de palabra y a nivel de bit. El sistema de asignación de direcciones es el mismo para la instrucción TON, TOF y RTO.

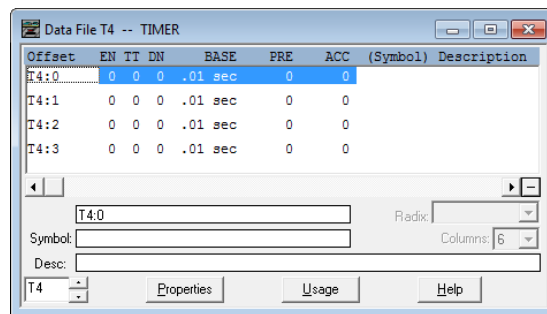


Figura 1. Registro de datos correspondiente al temporizador

En la Figura 1 se muestra el archivo de datos (*Data File*) T4 con 4 elementos, estos corresponden a los temporizadores configurados y/o programados, sin embargo es posible incrementar o disminuir el número de elementos pulsando el botón de propiedades (*Properties*). Por lo tanto:



- La identificación a nivel de elemento (temporizador) se asigna por medio de "T4:X", donde "X" representa el número de temporizador. A esta dirección de elemento se le puede asociar un símbolo y una descripción como se puede ver en la Figura 1.
- La identificación a nivel de palabra del elemento de tiempo preestablecido (*Preset*) se da por medio de la asignación "T4:X.PRE" que corresponde a la segunda palabra (*Word 1*) y "T4:X.ACC" para el tiempo trascurrido (*Accumulated*) ubicado en la tercera palabra (*Word 2*).
- La identificación a nivel de bit del elemento se da por medio de la asignación "T4:X.DN" para señalar la finalización o el inicio de la temporización según sea el caso, ubicado en el bit 13 de la primera palabra (*Word 0*), la asignación de "T4:X.TT" para señalar la activación del ciclo de temporización, este se ubica en el bit 14 de la primera palabra (*Word 0*) y "T4:X.EN" ubicado en el bit 15 señala que el peldaño está energizado.

**Uso de instrucciones de temporización.-** La cantidad de tiempo que se puede generar en un temporizador está limitada por el valor total de la dirección de preestablecimiento (*Preset* 16 bits) que corresponden a 32767. Si la base de tiempo es de 0,01 segundos, esto limita el tiempo preestablecido a  $0,01 \times 32767 = 327$  segundos. Usando el bit de habilitación (EN) o el bit de finalización-iniciación (DN) de un temporizador, es posible incrementar de una manera fácil el tiempo máximo de temporización con relativa exactitud.

**Temporización a la conexión (TON).-** La instrucción TON se usa para activar o desactivar una salida después que el temporizador ha estado funcionando durante un intervalo de tiempo preestablecido. Esta instrucción comienza a temporizar (ya sea a intervalos de un segundo o una centésima de segundo) cuando el peldaño está activado o energizado.

El intervalo de tiempo es especificado por el valor preestablecido (*Preset*). Pasado este tiempo se activa el bit DN. Esto ocurre cuando el valor del registro ACC (*Accumulated*) es igual al valor del registro PRE (*Preset*) (Ver Figuras 2 y 3).

Una vez alcanzada la temporización y mientras se mantenga la condición activa del peldaño, el temporizador mantendrá el valor del registro acumulado (ACC) igual al valor preestablecido (PRE).

El valor del registro acumulado (ACC) y los bits DN, EN y TT se restablecen cuando el peldaño es desenergizado, independientemente de si la cuenta del tiempo fue alcanzada. Ver Figura 3.

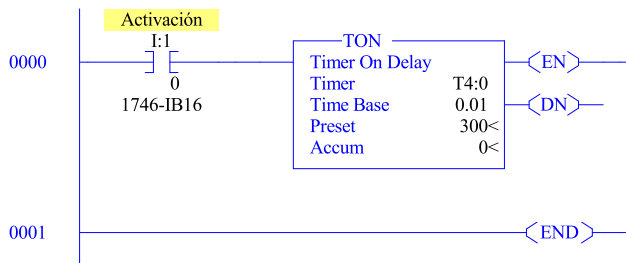


Figura 2. Símbolo de un temporizador TON

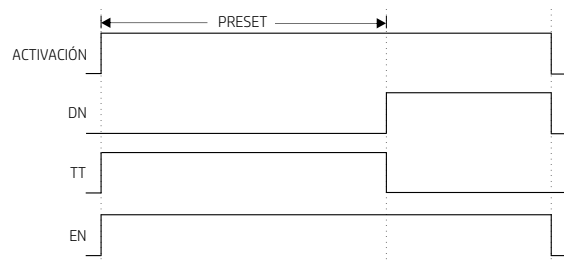


Figura 3. Diagrama de tiempos de un temporizador TON

**Temporización a la desconexión (TOF).-** La instrucción TOF se utiliza para activar o desactivar una salida después de que el peldaño ha sido desenergizado para un periodo de tiempo preestablecido.

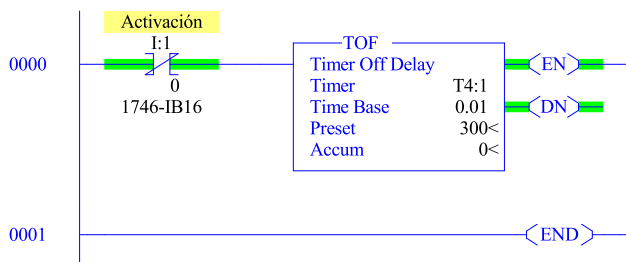


Figura 4. Símbolo de un temporizador TOF

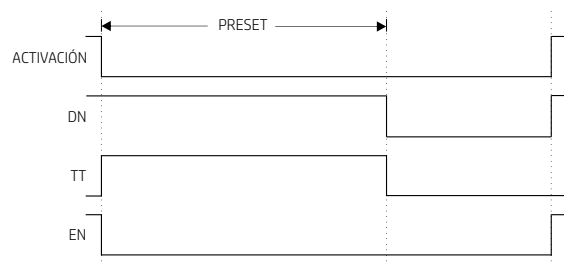


Figura 5. Diagrama de tiempos de un temporizador TOF

Esta instrucción, inicia su funcionamiento cuando la condición del peldaño cambia de verdadero a falso. Mientras que la condición siga siendo falsa, el temporizador aumenta su valor acumulado (ACC) hasta ser igual al valor preestablecido (PRE), entonces se desactiva el bit DN. Ver Figuras 4 y 5.



Al igual que en un temporizador TON, el valor del registro acumulado ACC y los bits DN, EN y TT se reestablecen cuando el peldaño cambia de condición, independientemente de si la cuenta del tiempo fue alcanzada.

**Temporización a la conexión retentiva (RTO).**- La instrucción RTO se utiliza para activar o desactivar una salida después de que el peldaño ha sido energizado para un periodo de tiempo preestablecido.

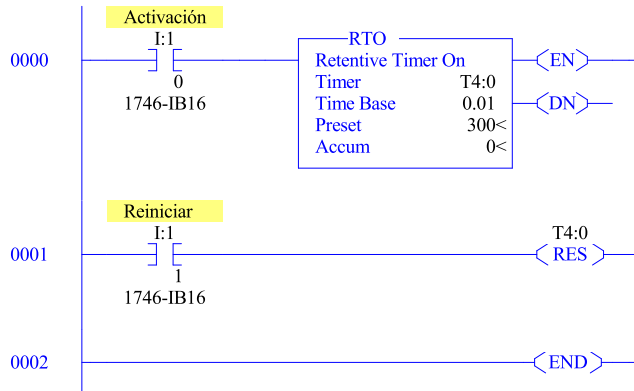


Figura 6. Símbolo de un temporizador RTO

Su funcionamiento es similar a la instrucción TON, con la diferencia que este tipo de temporizador mantiene el valor del registro acumulado (ACC) a pesar de que: la condición del peldaño cambie, exista un cambio en la operación del procesador (de modo REM Run o REM Test a REM Program Mode), el procesador pierda la energía (siempre y cuando se mantenga energía en la batería interna de respaldo) o que ocurra una falla. Una vez que las condiciones del peldaño o de operación sean las normales, el temporizador seguirá incrementando su valor del registro acumulado.

Para reiniciar el valor del registro acumulado y el bit DN es necesaria la programación de la instrucción RES en otro peldaño (ver Figura 6). Al añadir la instrucción RES debe asignarse la misma dirección del temporizador [Allen-Bradley, 2008].

**Precisión de los temporizadores.**- Es posible que se genere un pequeño retraso adicional en la temporización debido al tiempo de exploración del programa (*scan time*). Este se da entre el momento en que la instrucción de temporización es activada y el momento en que el intervalo de tiempo es alcanzado. También debe considerar el tiempo necesario para energizar el dispositivo de salida.

Otro efecto que degrada la exactitud de las instrucciones de temporización se produce cuando alguna de las instrucciones JMP, LBL, JSR o SBR salta sobre el peldaño que contiene a la instrucción de temporización mientras el valor del registro ACC no sea igual al de PRE.

## V. Desarrollo de la actividad

### CONTROL DE TRÁFICO



**Descripción y especificaciones del proyecto.**- Durante la planeación de una nueva línea del Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México (MB), se determinó la factibilidad de implementar un sistema de semaforización en varias estaciones, a fin de evitar accidentes ocasionados por el cruce indebido de peatones y automovilistas en una intersección.

De acuerdo al volumen de tránsito vehicular y peatonal por acceso a la estación del MB, y considerando el manual de señalización vial y dispositivos de seguridad [SCT, 2014]; se requiere la implementación de un sistema automatizado de control de tráfico de una y dos vías, utilizando un Controlador Allen Bradley SLC 5/04 1747-L541 Rev C. Deberá considerar un *chassis* de 4 *slots* con la siguiente configuración:

- **Slot 0.**- Procesador 1747-L541C 16K Mem. Series C FRN 3-8.
- **Slot 1.**- Módulo de entradas discretas 1746-IB16.
- **Slot 2.**- Módulo de entradas discretas 1746-IV16.
- **Slot 3.**- Módulo de salidas discretas 1746-OB16.

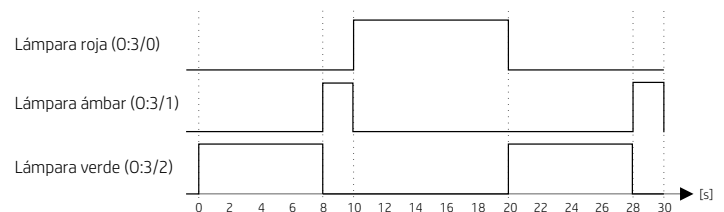


Figura 7. Diagrama de tiempos de un semáforo de una vía

#### **Etapas 1: Control de tráfico de una vía.**

1.- Desarrolle una rutina de automatización en LD IEC 61131-3 empleando RSLogix 500 para implementar el control de tráfico de una vía cumpliendo la secuencia mostrada en la Figura 7, utilizando instrucciones de temporización en cascada.



- Adicionalmente, evalúe el funcionamiento de la rutina con la ayuda de la herramienta RSLogix Emulate 500 con el *driver* EMU500-1.
- Capture un diagrama de tendencias del funcionamiento del semáforo.

### Etapas 2: Control de tráfico de dos vías.

- Modifique la rutina anterior de forma que un segundo semáforo pueda ser implementado para controlar el flujo de tráfico en la otra dirección. El funcionamiento del control de tráfico debe ser igual al mostrado en la Figura 8. Realice el diseño utilizando como máximo cuatro temporizadores.
- Pruebe la rutina usando RSLogix Emulate 500 con ayuda del *driver* EMU500-1.
- Para evaluar el funcionamiento del control de tráfico de dos vías, transfiera la rutina al controlador SLC 5/04 usando la pasarela TCP-1 como medio de comunicación y las dos botoneras industriales Allen Bradley 80FC-7Z. Para este fin, agregue el *driver Remote Devices via Linx Gateway* en RSLinx Classic (ver Figura 9). Posteriormente, seleccione el servidor (*Server name*) EWS-00, que corresponde a la computadora donde está conectado el Controlador SLC 5/04 y elija el *driver* remoto (*Remote driver name*) AB-DF1-1 como se muestra en la Figura 10.
- A continuación, en la herramienta RSLogix 500 cambie el *driver* EMU500-1 por TCP-1 y asigne la ruta de comunicación del proyecto (*Comm Path*) como se muestra en la Figura 11.
- Finalmente, descargue (*Download...*) el proyecto en el controlador SLC 5/04 y verifique su correcto funcionamiento.

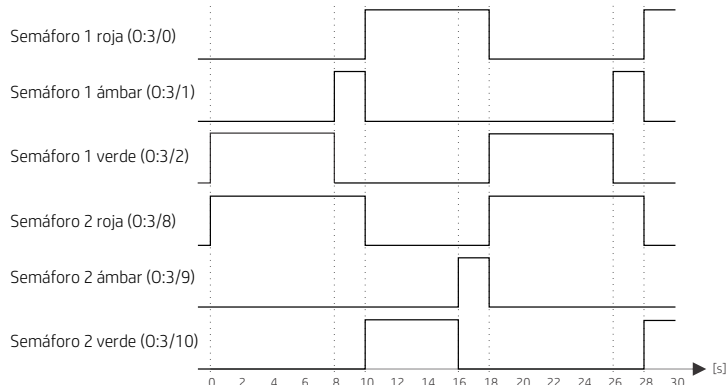


Figura 8. Diagrama de tiempos de un semáforo de dos vías

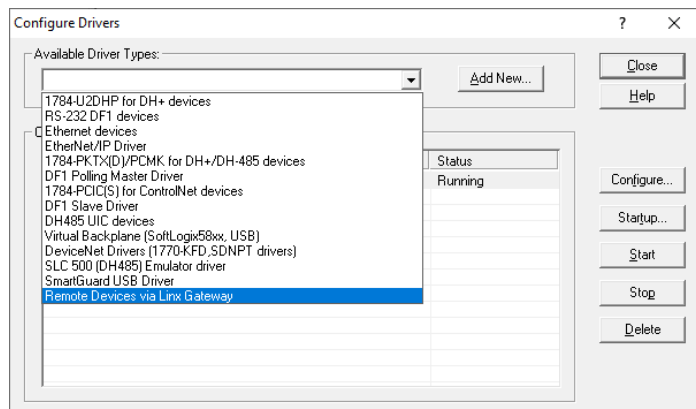


Figura 9. Selección del driver *Remote Devices via Linx Gateway*

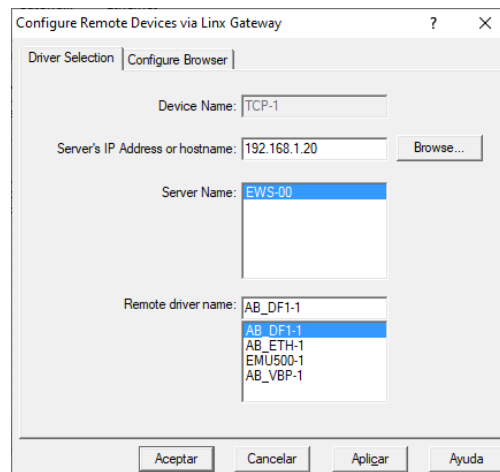


Figura 10. Selección de *driver* remoto AB.DF1-1

### Entregables del proyecto:

- Tabla de ordenamiento de variables para control de tráfico de dos vías.
- Diagrama de conexiones al controlador SLC 5/04 con base a la norma IEC 61082-1, para control de tráfico de dos vías.
- Diagrama de tendencias obtenido de la herramienta RSLogix 500 para el control de tráfico de una vía.
- Rutinas de control de etapas 1 y 2 en LD IEC 61131-3 debidamente comentadas.

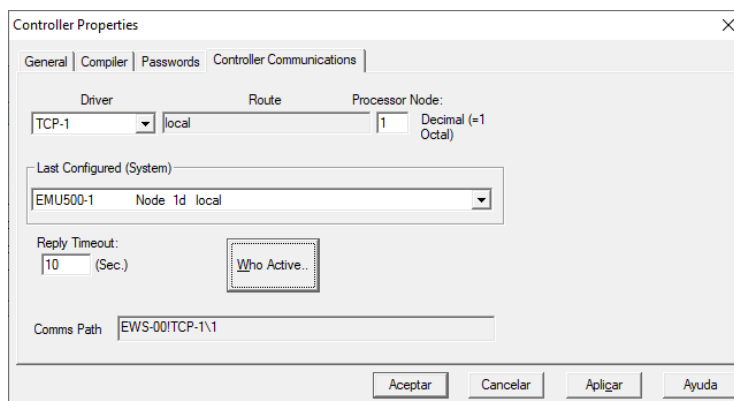


Figura 11. Asignación de ruta de comunicación (*Comm Path*)



## VI. Cuestionario

1. ¿Con qué instrucción restaura el bit “DN” de un temporizador RTO?

---



---



---

2. ¿Por qué decimos que un temporizador RTO “tiene memoria”?

---



---



---

3. ¿Cómo influye el tamaño del programa sobre los ciclos de temporización que son muy cortos?

---



---



---

## VII. Actividad de investigación

Investigue qué sucede con los registros de un temporizador TON y TOF que aún no culmina con la temporización, si son implementados en una rutina LD dentro de un procesador SLC 5/04 y se cambia el estado del procesador de modo REM RUN a modo REM PROG. Consulte el manual de referencia [Allen-Bradley, 2008].

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## VIII. Conclusiones y observaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Referencias

[Allen-Bradley, 2008] Allen-Bradley (2008). SLC 500 Instruction Set Reference Manual. Reference Manual 1747-RM001G-EN-P, Rockwell Automation. Rev. G. (Citado en páginas 6 y 8.)

[SCT, 2014] SCT (2014). Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad. Manual, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Sexta edición. (Citado en página 6.)







## I. Objetivos

- ☞ Identificar instrucciones de conteo ascendente (CTU) y descendente (CTD) disponibles en el controlador SLC 5/04.
- ☞ Implementar y evaluar rutinas de control que involucren instrucciones de conteo y de reinicialización (RES).

## II. Recursos

### 1. Software

- Microsoft Windows 10 Pro.
- RSLinx Classic Gateway v4.30.
- RSLogix 500 v12.01.
- RSLogix Emulate 500 v6.00.

### 2. Equipos, instrumentos, herramientas y accesorios

- Computadora Intel Core i9-10900K 5.3GHz, 16GB RAM.
- Controlador Allen-Bradley SLC 5/04 1747-L541C 16K Mem. Series C FRN 3-8.
- Convertidor USB a RS-232C.
- Cable de comunicación null-modem Allen-Bradley 1747-CP3.
- Botonera industrial Allen-Bradley 80FC-7Z.

## III. Seguridad en la ejecución de la actividad

	Peligro o fuente de energía		Riesgo asociado		Medidas de control	Verificación
1 <sup>ro</sup>	Voltaje alterno		Electrocución		Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto	
2 <sup>do</sup>	Voltaje continuo		Daño a equipo		Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo	
Apellidos y nombres:						

## IV. Fundamento teórico

Un contador es una función de cómputo que permite efectuar la cuenta de acontecimientos o de impulsos. La cuenta se puede programar en forma progresiva (ascendente) o regresiva (descendente).

**Direccionamiento.-** El direccionamiento de las instrucciones de conteo se da a nivel de elemento, a nivel de palabra y a nivel de bit. El sistema de asignación de direcciones es el mismo para las instrucción CTU (*count up*) y CTD (*count down*). Estas instrucciones requieren de 3 registros de 16 bits (*Words*) para su funcionamiento. En la Figura 1 se muestra el archivo de datos (*Data File*) C5, con tres elementos correspondiente a los contadores configurados y/o programados. Por lo tanto:

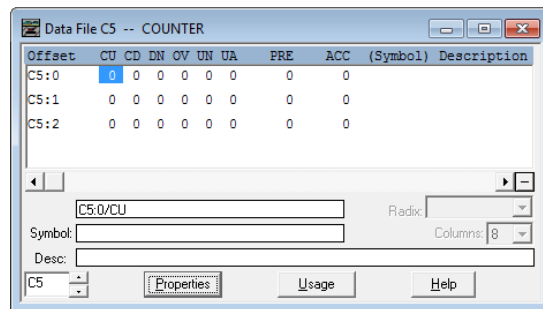


Figura 1. Registro de datos para contadores

- La identificación a nivel de elemento (contador) se asigna por medio de “C5:X”, donde “X” representa el número de contador de tipo CTU o CTD. Esta dirección de elemento se puede asociar con un símbolo.
- La identificación a nivel de palabra del elemento para el valor acumulado se da por medio de la asignación “C5:X.ACC” para conteo transcurrido, según el número de veces que el renglón cambia de falso a verdadero; para el valor prefijado del contador (*Preset*) se da por medio de la asignación “C5:X.PRE”; es decir el valor que el contador debe alcanzar antes de activar el bit DN. El elemento *preset* y *accum* solo admiten un rango de valores entre -32768 a 32767.



- La identificación a nivel de bit del elemento se da por medio de la asignación “C5:X.DN” para señalar la finalización del contador, “C5:X.CU” para señalar el conteo progresivo y “C5:X.OV” para el bit de *overflow* del contador.

La instrucción RES se usa para reiniciar el valor acumulado y los bits de estado de un temporizador o contador, tales como TON, RTO, CTU y CTD. El uso de la instrucción RES requiere que se le asigne la misma dirección de la variable que se desea restablecer. La activación de las instrucciones CTU y CTD se da a partir de un pulso positivo, como se aprecia en Figura 2, el bit DN en estas instrucciones es activado una vez que la cuenta del bit *accum* llega al valor establecido del *preset* como puede verse en la Figura 3.

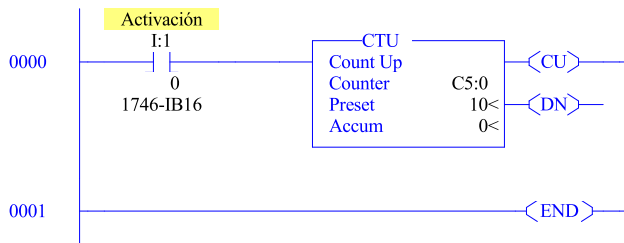


Figura 2. Símbolo de un contador ascendente CTU

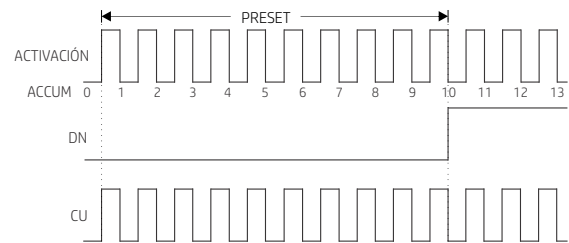


Figura 3. Diagrama de tiempos de un contador CTU

## V. Desarrollo de la actividad

### 1.- LÁMPARA DE SEGURIDAD

**Descripción y especificaciones del proyecto.-** Se desea instalar en el sistema de seguridad de un banco una alarma silenciosa, la cual es activada por medio de un botón de pánico, que a su vez enciende una lámpara que se encuentra en la central receptora para notificar la emergencia. Se requiere la implementación de un sistema automatizado utilizando un Controlador Allen Bradley SLC 5/04 1747-L541 Rev C.

Considerar un *chassis* de 4 *slots* con la siguiente configuración:

- Slot 0.-** Procesador 1747-L541C 16K series C FRN 3-8.
- Slot 1.-** Módulo de entradas discretas 1746-IB16.
- Slot 2.-** Módulo de entradas discretas 1746-IV16.
- Slot 3.-** Módulo de salidas discretas 1746-OB16.

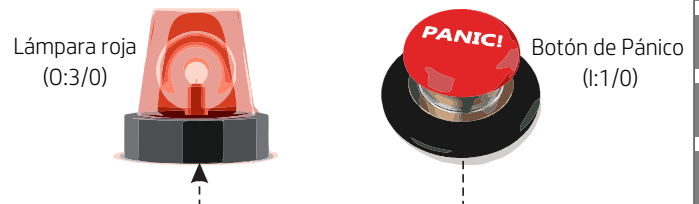


Figura 4. Diagrama de direcciones

- Desarrolle una rutina de automatización en LD IEC 61131-3 empleando la herramienta de desarrollo RSLogix 500 para implementar el control para la oscilación de la lámpara con un intervalo de 2 segundos para el encendido y 1 segundo el apagado. Si la lámpara se activó 10 veces esta deberá quedar permanentemente encendida. Deberá de usar las direcciones mostradas en la Figura 4.
- Adicionalmente, evalúe el funcionamiento de la rutina con la ayuda de la herramienta RSLogix Emulate 500 con el *driver* EMU500-1.

### 2.- COMPUERTA DE DESVÍO

**Descripción y especificaciones del proyecto.-** En una planta embotelladora se requiere la implementación de un control para la banda transportadora mostrada en la Figura 5. Esta cuenta con 2 canales para facilitar el empaque de las botellas: el canal principal (derecho) y un canal de desvío (izquierdo), al cual se puede acceder por medio de una compuerta cuyo sistema de control está conformado por un servomecanismo y un sensor óptico S1 que detecta el paso de las botellas.

- Desarrolle una rutina de automatización en LD IEC 61131-3 empleando RSLogix 500 para implementar el control de la compuerta de desvío, la cual debe abrirse al activar el embobinado *motor right*, una vez que el sensor óptico S1 detecte el paso de 3 botellas y cerrarse nuevamente activando el embobinado *motor left* cuando el sensor vuelva a contar nuevamente el paso de 3 botellas.
- Bajo ninguna circunstancia los dos embobinados (*motor right* y *motor left*) deben energizarse simultáneamente.



3. Adicionalmente, evalúe el funcionamiento de la rutina con la ayuda de la herramienta RSLogix Emulate 500 con el *driver* EMU500-1.

NOTA: Para el uso de la botonera industrial Allen Bradley 80FC-7Z, el sensor se representa con el botón verde, la lámpara ámbar representa el embobinado *motor left*, y la lámpara verde representa el embobinado *motor right*.

### Entregables del proyecto:

1. Tabla de asignación de variables para el control para ambos proyectos.
2. Diagrama de conexiones al controlador SLC 5/04 con base en la norma IEC 61082-1 para el control de ambos proyectos.
3. Rutinas de control en LD IEC 61131-3 debidamente comentadas para ambos proyectos.

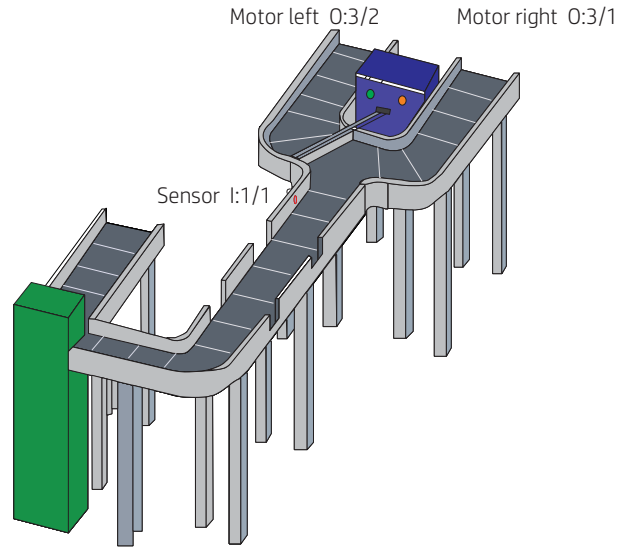


Figura 5. Banda transportadora

## VI. Cuestionario

Implemente la rutina de control que se muestra en la Figura 6, ejecútela y responda el siguiente cuestionario:

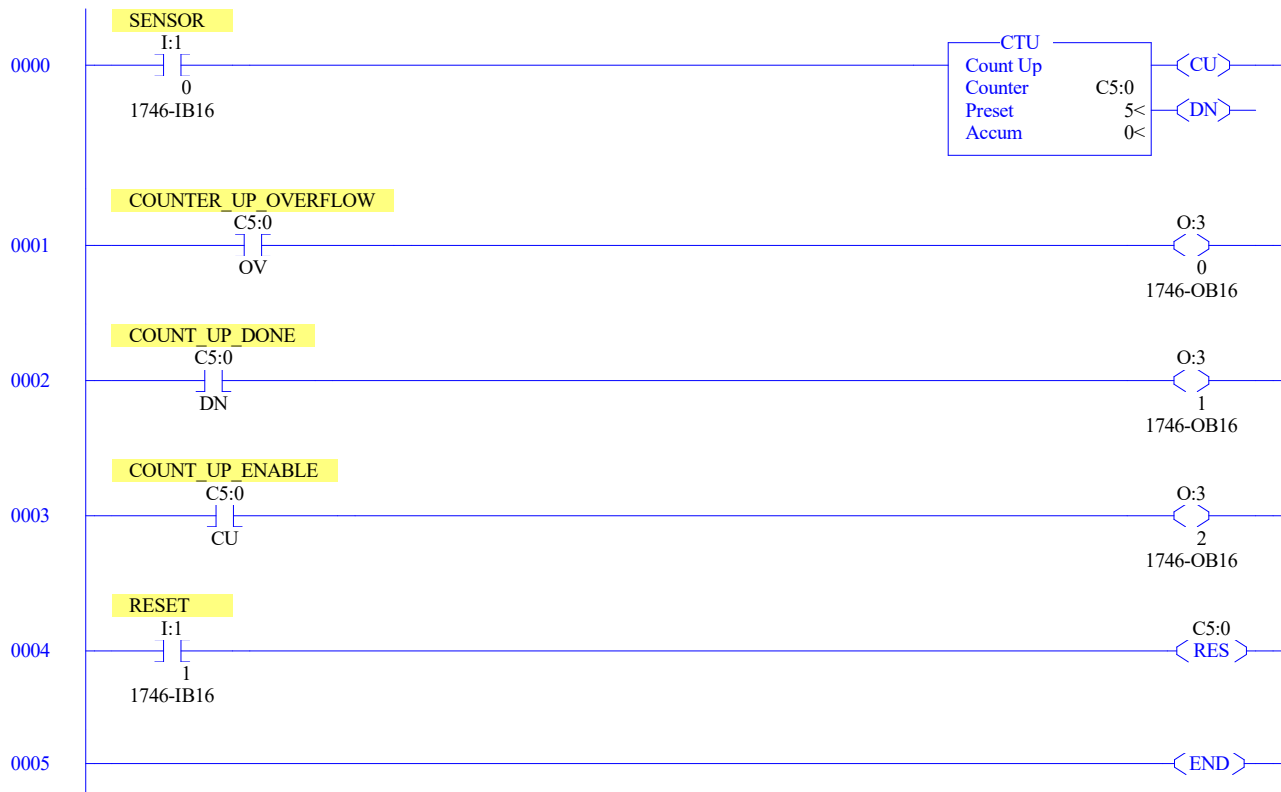


Figura 6. Registro de datos correspondiente a contadores

1. Describa el funcionamiento de la instrucción CTU dentro del programa.

---



---



---



## Manual de prácticas del Laboratorio de Controladores Industriales Programables

Código:	MADO-71
Versión:	04
Página:	13/31
Sección ISO:	8.3
Fecha de emisión:	13 de septiembre de 2019

Facultad de Ingeniería

Área/Departamento: Laboratorio de Automatización

La impresión de este documento es una copia no controlada

2. Explique la acción de C5:0/OV sobre O:3/0.

---

---

---

3. Explique la acción de C5:0/DN sobre O:3/1.

---

---

---

4. Explique la acción de C5:0/CU sobre O:3/2.

---

---

---

5. Describa el funcionamiento de la instrucción RES dentro del programa.

---

---

---

## VII. Actividad de investigación

Investigue, ¿qué función tiene y cuándo se utiliza el bit C5:0/UN (ubicado en la posición 10 del archivo de datos C5)? Consulte el manual de referencia [Allen-Bradley, 2008].

---

---

---

---

---

---

---

## VIII. Conclusiones y observaciones

---

---

---

---

---

---

---

## Referencias

[Allen-Bradley, 2008] Allen-Bradley (2008). SLC 500 Instruction Set Reference Manual. Reference Manual 1747-RM001G-EN-P, Rockwell Automation. Rev. G. (Citado en página 13.)



DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y ROBÓTICA  
 ACADEMIA DE AUTOMATIZACIÓN  
 La impresión de este documento es una copia no controlada



# Controladores Industriales Programables

Clave(7910)

— Práctica N°3 (Laboratorio) —

## COMPARADORES

Apellidos y nombres:			
Grupo:	Profesor(a):	Fecha:	
Semestre:		EWS:	

### RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA GUÍA DE CLASE

CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS) Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	REGULAR (1 PUNTO) Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	NO ACEPTABLE (0 PUNTOS) No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Seguridad en la ejecución de la actividad	Identifica correctamente los peligros y fuentes de energía, minimiza los riesgos aplicando las medidas de control, realiza la verificación y firma con apellidos y nombres	Identifica parcialmente los peligros y/o no aplica todas las medidas de control	No aplica ninguna medida de control, no verifica y no firma
2. Diagrama de conexiones al controlador y tabla de ordenamiento de variables	Incluye todos los diagramas de conexión al controlador en formato vectorial, emplea correctamente la simbología eléctrica IEC 61082-1 e incluye las tablas de ordenamiento de variables completas	Realiza parcialmente los diagramas de conexiones, no cumple con todos los requisitos o la tabla de ordenamiento de variables es inconsistente	No entrega diagramas de conexión y/o tabla de ordenamiento de variables
3. Rutina de control en el estándar IEC 61131-3	Diseña correctamente la rutina de control, incluye comentarios en cada etapa y adjunta la rutina exportada desde el entorno de desarrollo	Incluye la rutina de control con solo algunos comentarios y/o presenta capturas la pantalla del entorno de desarrollo	No reporta la rutina de control
4. Actividades de investigación y/o cuestionarios	Realiza las actividades de investigación correctamente, se apoya en la literatura citada y responde correctamente el cuestionario	Realiza las actividades de investigación inadecuadamente y/o no responde los cuestionarios satisfactoriamente	No realiza las actividades de investigación y/o cuestionarios
5. Conclusiones y observaciones	Reflexiona sobre las actividades, demuestra pensamiento crítico en el desarrollo de la guía y aporta con observaciones sobre las actividades realizadas	Las conclusiones generadas son únicamente un recuento de lo realizado en la guía sin generar ninguna observación	No genera conclusiones y observaciones

ATRIBUTOS DE EGRESO Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE A LOS QUE ESTA GUÍA DE CLASE CONTRIBUYE:	NIVEL	Calificación
<b>A2.</b> Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplan las necesidades especificadas. <b>A5.</b> Servir a la sociedad con valores éticos y sensibilidad social que tomen en cuenta el impacto de las soluciones de ingeniería eléctrica electrónica en los entornos económico, ambiental y social. <b>A6.</b> Actualizarse y superarse en su ámbito de especialización para adaptarse a los cambios de tecnología con el propósito de encontrar las soluciones más adecuadas a los problemas de ingeniería. <b>R7.1.</b> Capacidad para comunicar eficazmente información, ideas, problemas y soluciones en el ámbito de ingeniería y con la sociedad en general. <b>R8.1.</b> Capacidad de reconocer la necesidad de la formación continua propia y de emprender esta actividad a lo largo de su vida profesional de forma independiente.	Avanzado Medio Avanzado Medio Medio	     

### CONTROL DE MODIFICACIONES

Rev	Descripción	Editado por	Verificado por	Validado por	Revisado por	Fecha
0	Primera versión	Dr. Hoover Mujica	Dr. Gerardo Espinosa	Dr. Hoover Mujica	Dr. Hoover Mujica	07.01.2013
1	Modificación del encabezado	Dr. Hoover Mujica	Dr. Jesús Morales	Ing. Jorge Calderón	Dr. Hoover Mujica	17.01.2018
2	Actualización de objetivos, cambio de equipo y redacción del desarrollo de la actividad	Dr. Hoover Mujica	Dr. Jesús Morales	Ing. Jorge Calderón	Dr. Hoover Mujica	05.09.2018
3	Cambio en la redacción del desarrollo de la actividad e indicadores visuales para impresión a doble cara	Dr. Hoover Mujica	Dr. Hoover Mujica	Ing. Jorge Calderón	Dr. Hoover Mujica	13.02.2019
4	Actualización de atributos del egresado y correcciones menores	Dr. Hoover Mujica	Dr. Hoover Mujica	Mtra. Gloria Correa	Dr. Hoover Mujica	09.09.2019



## I. Objetivos

- ☞ Conocer las instrucciones de comparación LES, LEQ, EQU, GEQ, NEQ, LIM y GRT del SLC 5/04 AB.
- ☞ Identificar las propiedades de la instrucción MOV.
- ☞ Implementar y evaluar rutinas de automatización que involucren instrucciones de comparación.

## II. Recursos





### 1. Software

- a) Microsoft Windows 10 Pro.
- b) RSLinx Classic Gateway v4.30.
- c) RSLogix 500 v12.01.
- d) RSLogix Emulate 500 v6.00.

### 2. Equipos, instrumentos, herramientas y accesorios

- a) Computadora Intel Core i9-10900K 5.3GHz, 16GB RAM.
- b) Controlador Allen-Bradley SLC 5/04 1747-L541C 16K Mem. Series C FRN 3-8.
- c) Convertidor USB a RS-232C.
- d) Cable de comunicación null-modem Allen-Bradley 1747-CP3.
- e) Botonera industrial Allen-Bradley 80FC-7Z.

## III. Seguridad en la ejecución de la actividad

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control	Verificación
1 <sup>ro</sup>	Voltaje alterno 	Electrocución 	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto	
2 <sup>do</sup>	Voltaje continuo 	Daño a equipo 	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo	
Apellidos y nombres:				

## IV. Fundamento teórico

### INSTRUCCIONES DE COMPARACIÓN

Instrucción		Propósito
Mnemónico	Nombre	
EQU	Igual	Probar si dos valores son iguales.
NEQ	No igual	Probar si un valor no es igual que un segundo valor.
LES	Menor que	Probar si un valor es menor que un segundo valor.
LEQ	Menor o igual que	Probar si un valor es menor o igual que un segundo valor.
GRT	Mayor que	Probar si un valor es mayor que otro.
GEQ	Mayor o igual que	Probar si un valor es mayor o igual que un segundo valor.
LIM	Prueba de límite	Probar si un valor se encuentra dentro del rango de valores.

Tabla 1. Instrucciones de comparación

**Instrucciones de transferencia de datos.-** Este tipo de instrucciones permiten el intercambio de información desde un registro a otro. Esto es, por ejemplo, cuando se requiere transferir el valor acumulado o el valor preestablecido de un temporizador o contador a una palabra, se debe implementar una operación de transferencia, donde el procesador del controlador industrial transferirá el valor requerido a la palabra deseada.

La instrucción más usada para este tipo de aplicaciones es la instrucción MOV (ver Figura 1).

Estas operaciones permiten comparar una variable contra un valor numérico, o bien, dos variables entre sí. Todas estas operaciones son condicionales, es decir, cuando se cumple la relación de comparación, se activa una señal del tipo binaria. Las operaciones de comparación posibles son las que se muestran en la Tabla 1.



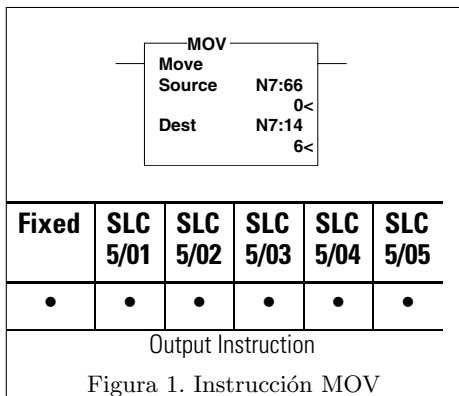
La impresión de este documento es una copia no controlada

### Parámetros de instrucción MOV

**La fuente.-** Es la dirección del valor o palabra, la cual se requiere transferir a otra dirección o registro. La fuente puede ser una dirección de palabra o una constante de programa.

**El destino.-** Es la dirección a la cual la instrucción MOV transferirá el valor de la dirección fuente. Cabe señalar que la dirección de destino necesariamente debe ser una palabra.

**Direcciones de palabras indirectas.-** El controlador SLC 5/04 tiene la capacidad de utilizar direcciones indirectas a nivel de palabra y a nivel de bit para instrucciones de transferencia de datos, especificando las direcciones de palabra en el destino.



## V. Desarrollo de la actividad

### 1. CONTROL DE NIVEL DE UN TANQUE

Condición	Acción de control
$0 \leq PV \leq 10$	$V_1 : ON$ $V_2 : ON$ $V_3 : OFF$
$10 < PV \leq 50$	$V_1 : ON$ $V_2 : ON$ $V_3 : ON$
$50 < PV < 80$	$V_1 : OFF$ $V_2 : ON$ $V_3 : ON$
$80 \leq PV \leq 100$	$V_1 : OFF$ $V_2 : OFF$ $V_3 : ON$

Tabla 2. Especificaciones para control de válvulas

que es leída por un sensor de nivel de tipo flotador. Adicionalmente, el control del proceso se realiza en un controlador SLC 5/04 de AB que cuenta con un procesador 1747-L541C 16K Mem. FRN 3-8, dos módulos de entradas discretas 1746-IB16 y 1746-IV16, y un módulo de salidas discretas 1746-OB16, ubicados en el slot 0, 1, 2 y 3, respectivamente.

1.- Desarrolle una rutina de control en lenguaje LD IEC 61131-3 que permita controlar el accionamiento de las válvulas en función a los rangos de nivel de agua que se presentan en la Tabla 2. La rutina implementada deberá realizarse con la menor cantidad de peldaños posibles.

2.- Considere un registro de enteros N7 para modificar el nivel de agua del tanque atmosférico y verifique el funcionamiento de la rutina de control en RSLogix Emulate 500 con ayuda del *driver* EMU500-1.

3.- Finalmente, evalúe la rutina de control empleando la botonera industrial Allen-Bradley 80FC-7Z, donde los tres indicadores luminosos representen a cada una de las válvulas. Para esto, transfiera su programa al controlador por medio de una pasarela TCP.

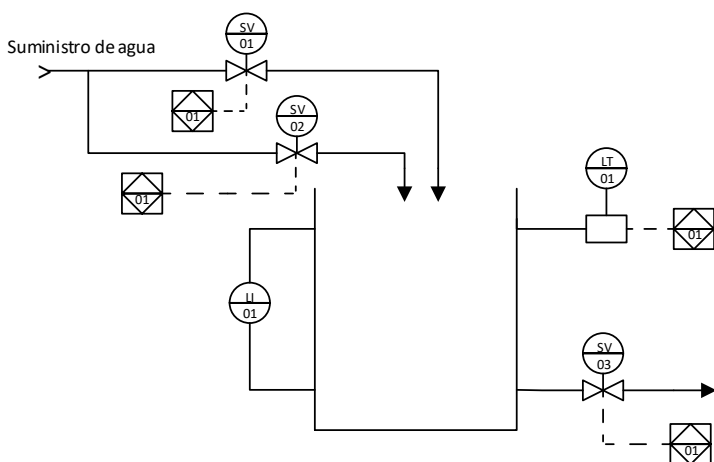


Figura 2. Diagrama de tuberías e instrumentación

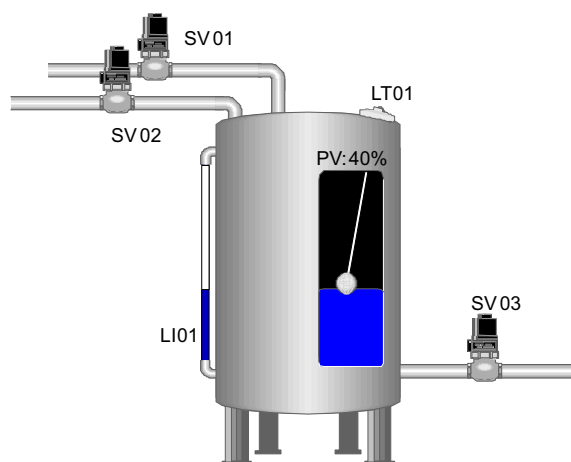


Figura 3. Tanque atmosférico





**Entregables del proyecto:**

1. Tabla de ordenamiento de variables.
2. Diagrama de conexiones al Controlador SLC 5/04 con base a la norma IEC 61082-1.
3. Rutina de control en LD IEC 61131-3 debidamente comentada.

**2. ENCENDIDO DE MOTORES DE MODO SECUENCIAL Y CÍCLICO**

**Descripción y especificaciones del proyecto.-** Durante un proceso de manufactura dentro de una fábrica, se utiliza una serie de bandas transportadoras para desplazar el producto desde un segmento del proceso a otro; dichas bandas están accionadas por motores de manera secuencial, tal como se muestra en la Figura 4.

El proceso es controlado mediante un controlador 5/04 de la familia SLC de AB con un procesador 1747-L541C 16K Mem. FRN 3-8, dos módulos de entradas discretas 1746-IB16 y 1746-IV16, ubicados en los *slots* 1 y 2, respectivamente. Adicionalmente posee un módulo de salidas discretas 1746-OB16 ubicado en el *slot* 3.

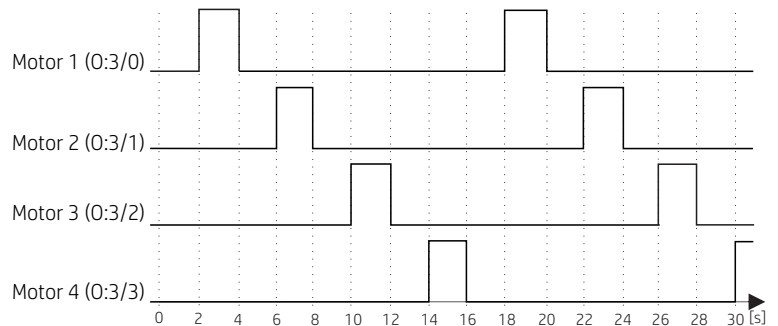


Figura 4. Secuencia de motores

1.- Implemente una rutina de control en lenguaje LD IEC 61131-3 que cumpla con los requerimientos del proceso utilizando instrucciones de comparación; la rutina deberá estar limitada a un sólo temporizador del tipo TOF y deberá incluir un interruptor ON-OFF para el arranque y paro de la secuencia.

2.- Evalúe el funcionamiento de la rutina de control en RSLogix Emulate 500 con ayuda del *driver* EMU500-1.

**Entregables del proyecto:**

- Tabla de ordenamiento de variables.
- Diagrama de conexiones al Controlador SLC 5/04 con base a la norma IEC 61082-1.
- Rutina de control en LD IEC 61131-3 debidamente comentada.

**VI. Cuestionario**

1. ¿Cuál es la principal utilidad de usar instrucciones de transferencia de datos?

---

---

---

2. ¿Cómo funciona el direccionamiento de palabras indirectas?

---

---

---

3. ¿Por qué se dice que las instrucciones de comparación son condicionales?

---

---

---



## VII. Actividad de investigación

Investigue como debe usarse la instrucción MEQ (*Masked Comparison for Equal*), como se configuran sus parámetros y proporcione ejemplos donde se deba utilizar esta instrucción de comparación. Consulte [Allen-Bradley, 2008].

---

---

---

---

---

---

---

## VIII. Conclusiones y observaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Referencias

[Allen-Bradley, 2008] Allen-Bradley (2008). SLC 500 instruction set reference manual. Reference Manual 1747-RM001G-EN-P, Rockwell Automation. Rev. G1. (Citado en página 18.)



DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y ROBÓTICA  
 ACADEMIA DE AUTOMATIZACIÓN

La impresión de este documento es una copia no controlada



# Controladores Industriales Programables

Clave(7910)

— Práctica N°4 (Laboratorio) —

## FUNCIONES AVANZADAS PARTE I

Apellidos y nombres:			
Grupo:	Profesor(a):	Fecha:	
Semestre:		EWS:	

**RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA GUÍA DE CLASE**

CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	<b>BUENO (2 PUNTOS)</b> Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	<b>REGULAR (1 PUNTO)</b> Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	<b>NO ACEPTABLE (0 PUNTOS)</b> No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Seguridad en la ejecución de la actividad	Identifica correctamente los peligros y fuentes de energía, minimiza los riesgos aplicando las medidas de control, realiza la verificación y firma con apellidos y nombres	Identifica parcialmente los peligros y/o no aplica todas las medidas de control	No aplica ninguna medida de control, no verifica y no firma
2. Diagrama de conexiones al controlador y tabla de ordenamiento de variables	Incluye todos los diagramas de conexión al controlador en formato vectorial, emplea correctamente la simbología eléctrica IEC 61082-1 e incluye las tablas de ordenamiento de variables completas	Realiza parcialmente los diagramas de conexiones, no cumple con todos los requisitos o la tabla de ordenamiento de variables es inconsistente	No entrega diagramas de conexión y/o tabla de ordenamiento de variables
3. Rutina de control en el estándar IEC 61131-3	Diseña correctamente la rutina de control, incluye comentarios en cada etapa y adjunta la rutina exportada desde el entorno de desarrollo	Incluye la rutina de control con solo algunos comentarios y/o presenta capturas la pantalla del entorno de desarrollo	No reporta la rutina de control
4. Actividades de investigación y/o cuestionarios	Realiza las actividades de investigación correctamente, se apoya en la literatura citada y responde correctamente el cuestionario	Realiza las actividades de investigación inadecuadamente y/o no responde los cuestionarios satisfactoriamente	No realiza las actividades de investigación y/o cuestionarios
5. Conclusiones y observaciones	Reflexiona sobre las actividades, demuestra pensamiento crítico en el desarrollo de la guía y aporta con observaciones sobre las actividades realizadas	Las conclusiones generadas son únicamente un recuento de lo realizado en la guía sin generar ninguna observación	No genera conclusiones y observaciones

**ATRIBUTOS DE EGRESO Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE A LOS QUE ESTA GUÍA DE CLASE CONTRIBUYE:**

- A2. Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades especificadas.
- A5. Servir a la sociedad con valores éticos y sensibilidad social que tomen en cuenta el impacto de las soluciones de ingeniería eléctrica electrónica en los entornos económico, ambiental y social.
- A6. Actualizarse y superarse en su ámbito de especialización para adaptarse a los cambios de tecnología con el propósito de encontrar las soluciones más adecuadas a los problemas de ingeniería.
- R7.1. Capacidad para comunicar eficazmente información, ideas, problemas y soluciones en el ámbito de ingeniería y con la sociedad en general.
- R8.1. Capacidad de reconocer la necesidad de la formación continua propia y de emprender esta actividad a lo largo de su vida profesional de forma independiente.

**NIVEL**

- Avanzado
- Medio
- Medio
- Medio

**Calificación**

**CONTROL DE MODIFICACIONES**

Rev	Descripción	Editado por	Verificado por	Validado por	Revisado por	Fecha
0	Primera versión	Dr. Hoover Mujica	Dr. Gerardo Espinosa	Dr. Hoover Mujica	Dr. Hoover Mujica	07.01.2013
1	Modificación del encabezado	Dr. Hoover Mujica	Dr. Jesús Morales	Ing. Jorge Calderón	Dr. Hoover Mujica	17.01.2018
2	Actualización de objetivos, cambio de equipo y redacción del desarrollo de la actividad	Dr. Hoover Mujica	Dr. Jesús Morales	Ing. Jorge Calderón	Dr. Hoover Mujica	05.09.2018
3	Cambio en la redacción del desarrollo de la actividad e indicadores visuales para impresión a doble cara	Dr. Hoover Mujica	Dr. Hoover Mujica	Ing. Jorge Calderón	Dr. Hoover Mujica	13.02.2019
4	Actualización de atributos del egresado y correcciones menores	Dr. Hoover Mujica	Dr. Hoover Mujica	Mtra. Gloria Correa	Dr. Hoover Mujica	09.09.2019

L9



## I. Objetivos

- ☛ Conocer el funcionamiento de los módulos de entradas y salidas analógicas de un controlador industrial.
- ☛ Identificar las instrucciones matemáticas y de escalamiento disponibles en el controlador SLC 5/04 AB.
- ☛ Conocer y usar una herramienta de emulación de señales analógicas.
- ☛ Implementar y evaluar rutinas de control para la solución de proyectos en procesos continuos.

## II. Recursos






### 1. Software

- a) Microsoft Windows 10 Pro.
- b) RSLinx Classic Gateway v4.30.
- c) RSLogix 500 v12.01.
- d) RSLogix Emulate 500 v6.00.
- e) Emulador de entradas y salidas analógicas Hoovertec v1.6.2.2.

### 2. Equipos, instrumentos, herramientas y accesorios

- a) Computadora Intel Core i9-10900K 5.3GHz, 16GB RAM.
- b) Controlador Allen-Bradley SLC 5/04 1747-L541C 16K Mem. Series C FRN 3-8.
- c) Convertidor USB a RS-232C.
- d) Cable de comunicación null-modem Allen-Bradley 1747-CP3.

## III. Seguridad en la ejecución de la actividad

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control	Verificación
1 <sup>ro</sup>	Voltaje alterno 	Electrocución 	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto	
2 <sup>do</sup>	Voltaje continuo 	Daño a equipo 	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo	
Apellidos y nombres:				

## IV. Fundamento teórico

En el ambiente profesional es común encontrar procesos en los que se debe trabajar con señales del tipo analógico. Gracias a esto surge la necesidad de representar la medición de variables físicas continuas, como temperatura, nivel, caudal, velocidad, desplazamiento, etc.; en cantidades numéricas que puedan ser leídas y procesadas por un controlador industrial. Para ello, se han diseñado módulos de entradas y salidas analógicas que permiten la manipulación de estas señales, una vez que han sido acondicionadas para tener una señal de voltaje o corriente.

**1. Funcionamiento de los módulos de entradas y salidas analógicas.-** Cuando una señal (de voltaje o corriente) ingresa al módulo de entradas analógicas, la señal se convierte de analógica a digital por medio de un convertidor analógico-digital (A/D). El valor convertido, se envía a la CPU del controlador industrial. Luego que la CPU ha procesado la información según la rutina programada por el usuario, la CPU da salida a la información a través de un convertidor digital-analógico (D/A) por medio del módulo de salidas analógicas. Ver Figura 1



Figura 1. Módulo analógico 1746-NIO4I



**Manual de prácticas del Laboratorio de Controladores Industriales Programables**

Código:	MADO-71
Versión:	04
Página:	21/31
Sección ISO:	8.3
Fecha de emisión:	13 de septiembre de 2019

Facultad de Ingeniería

Área/Departamento: Laboratorio de Automatización

La impresión de este documento es una copia no controlada

**a) Conversión A/D.-** Los módulos de entrada analógica convierten la señal de corriente o voltaje en valores binarios de 16 bits complementados a 2, con una resolución de  $305,176\mu V$  para una señal de voltaje y  $1,2207\mu A$  para una señal de corriente [Allen-Bradley, 2004]. La Tabla 1 muestra los rangos de conversión A/D.

Voltaje/Corriente	Representación Decimal
-10V a +10V	-32 768 a +32767
0V a 10V	0 a 32 767
0V a 5V	0 a 16 384
1V a 5V	3 277 a 16 384
-20mA a +20mA	-16 384 a +16 384
0mA a +20mA	0 a 16 384
+4mA a +20mA	3 277 a 16 384

Tabla 1. Conversión A/D

**b) Conversión D/A.-** Los módulos de salida analógica convierten un valor binario de 16 bits complementado a 2 en una señal analógica. La resolución para una señal de voltaje es de  $1,2207mV$  y para una señal de corriente es de  $2,56348\mu A$  [Allen-Bradley, 2004]. La Tabla 2 muestra los rangos de conversión D/A.

Representación Decimal	Corriente/Voltaje
0 a +32 767	0mA a 21mA
0 a 31 208	0mA a +20mA
6 242 a 31 208	4mA a +20mA
-32 768 a 32 764	-10V a +10V
0 a 32 764	0V a +10V
0 a 16 384	0V a 5V
3 277 a 16 384	1V a 5V

Tabla 2. Conversión D/A

**2. Direccionamiento.-** El formato para direccionar entradas y salidas analógicas es I:e.b y O:e.b respectivamente, ver Tabla 3. A continuación, se muestran ejemplos.

- I:4.1 → Módulo de entrada analógica ubicado en el slot 4, terminal de conexión 1.
- O:4.0 → Módulo de salida analógica ubicado en el slot 4, terminal de conexión 0.

**3. Archivos de datos N7 y F8.-** Los archivos de datos N7 y F8 permiten realizar operaciones matemáticas empleando señales analógicas.

**a) Archivos de datos N7.-** Es el archivo N7:e. Este archivo se utiliza para almacenar valores enteros en el rango:  $-32768$  a  $+32767$ , donde e es el número de elemento en el rango de  $0 - 255$  y cada uno de ellos tiene una longitud de una palabra (1 word). Permite el direccionamiento a nivel de bit y a nivel de palabra. Por ejemplo:

- N7:1 → Elemento 1, archivo entero 7.
- N7:2/8 → Bit 8 del elemento 2, archivo entero 7.

I	Entrada hardware
:	Delimitador variable
e	slot en el que encuentra el módulo
.	Delimitador palabra
b	Canal o terminal de conexión

Tabla 3. Sintaxis de direccionamiento

**b) Archivos de datos F8.-** Es el archivo de punto flotante F8:e. Se utiliza para el almacenamiento de valores enteros y de aquellos que requieran 2 palabras de longitud, como números decimales. A diferencia del archivo N7, este registro solo permite el direccionamiento a nivel de palabra. Por ejemplo:

F8:2 Elemento 2, archivo punto flotante 8.

Instrucción		Propósito
Mnemónico	Nombre	
ADD	Añadir	Añade la fuente A a la fuente B y almacena el resultado en el destino
SUB	Restar	Resta la fuente B a la fuente A y almacena el resultado en el destino
MUL	Multiplicar	Multiplica la fuente A por la fuente B y almacena el resultado en el destino
DIV	Dividir	Divide la fuente A por la fuente B y almacena el resultado en el destino y el registro matemático
DDV	División doble	Divide el contenido del registro matemático por la fuente y almacena el resultado en el destino y el registro matemático
CLR	Borrar	Pone todos los bits de una palabra a cero
SQR	Raíz cuadrada	Calcula la raíz cuadrada de la fuente y coloca el resultado de entero en el destino
SCP	Escalar con parámetros	Produce un valor de salida escalado que tiene una relación lineal entre los valores de entrada y escalados
SCL	Datos de escala	Multiplica la fuente por una tasa especificada, añade a un valor offset y almacena el resultado en el destino
ABS	Absoluto	Calcula el valor absoluto de la fuente y coloca el resultado en el destino
CPT	Calcular	Evalúa una expresión y almacena el resultado en el destino
SWP	Cambiar	Cambia los bytes bajos y altos de un número especificado de palabra en un archivo de bit, entero, ASCII o cadena
ASN	Arco seno	Toma el arco seno de un número y almacena el resultado (en radianes) en el destino
ACS	Arco coseno	Toma el arco coseno de un número y almacena el resultado (en radianes) en el destino
ATN	Arco tangente	Toma el arco tangente de un número y almacena el resultado (en radianes) en el destino
COS	Coseno	Toma el coseno de un número y almacena el resultado en el destino
LN	Logaritmo natural	Toma el logaritmo natural del valor en la fuente y lo almacena en el destino
LOG	Logaritmo en base 10	Toma el logaritmo de la base 10 del valor en la fuente y almacena el resultado en el destino
SIN	Seno	Toma el seno de un número y almacena el resultado en el destino
TAN	Tangente	Toma la tangente de un número y almacena el resultado en el destino
XPY	X a la potencia Y	Eleva un valor X a la potencia Y y almacena el resultado en el destino

Tabla 4. Instrucciones Matemáticas

**4. Instrucciones matemáticas.-** Las instrucciones para operaciones matemáticas disponibles en el controlador SLC 5/04 AB se muestran en la Tabla 4. Estas instrucciones toman uno o dos valores de entrada, los cuales pueden ser direcciones de palabra o constantes de programa; y una vez efectuada la operación, almacenan el resultado en una dirección de destino



(N7:e o F8:e). Si una instrucción acepta dos operandos de entrada, solo uno de ellos puede ser una constante.

En el controlador están disponibles bits que se activan si el resultado de una operación matemática genera alguna condición especial como si el resultado sobrepasa la longitud máxima de la dirección de destino, entre otros [Allen-Bradley, 2008].

## 5. Escalamiento de datos con instrucción SCL

Esta instrucción permite el escalamiento de las señales analógicas que lee o escribe a través de los módulos correspondientes. Esto con el propósito de llevar los datos capturados o procesados, dentro de los límites que establece la variable de proceso (PV) u otro módulo analógico. Lo realiza calculando una relación lineal entre los valores de entrada y el valor escalado. Por ejemplo, si un módulo de entradas analógicas recibe la lectura de temperatura dentro de un intercambiador de calor en el rango de 0 a 32767, usando esta instrucción puede llevarse a términos de porcentaje o a términos de la variable de proceso en sí; donde 0 represente 0% o 0°C y 32767 represente 100% o la temperatura máxima dentro del proceso.

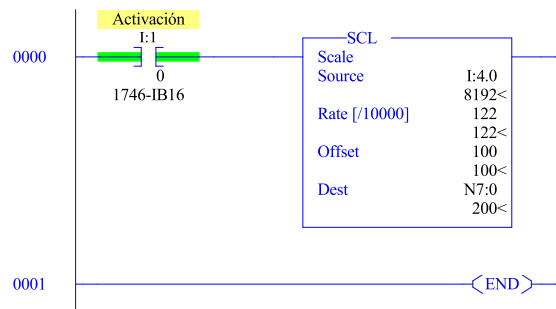


Figura 2. Símbolo de la instrucción SCL

Es una instrucción de salida, por lo cual requiere que la condición del peldaño en el que se encuentre sea positiva (ver Figura 2). Puede ser mediante lógica combinacional definida por el usuario, o bien, no tener ninguna condición de modo que el peldaño siempre esté energizado.

**a) Descripción de parámetros.-** Para que esta instrucción opere de manera adecuada se deben configurar los parámetros que la componen:

- **Source:** es una dirección de memoria. De esta se toman los valores en el rango -32768 a 32767.
- **Rate:** también es conocida como pendiente. Es un valor positivo o negativo que será multiplicado por 10 000. Se calcula mediante la ecuación 1.
- **Offset:** puede ser una constante del programa o un direccionamiento. Se calcula empleando la ecuación 2.
- **Dest:** es el direccionamiento de salida. El valor que recibe es el calculado internamente por la instrucción, que obedece a la ecuación 3.

**b) Cálculo de parámetros.**

$$\text{rate} = \frac{(\text{max escala} - \text{min escala})}{(\text{entrada max} - \text{entrada min})} \quad (1)$$

$$\text{offset} = \text{min escala} - (\text{entrada min} \times \text{rate}) \quad (2)$$

$$\text{valor escalado} = (\text{valor entrada} \times \text{rate}) + \text{offset} \quad (3)$$

donde:

valor entrada: es el valor que recibe la fuente.

valor escalado: es el valor resultado del ajuste lineal.

max escala: es el valor máximo al cual se requiere escalar.

min escala: es el valor mínimo al cual se requiere escalar

entrada max: es el máximo valor de entrada que recibe la fuente.

entrada min: es el mínimo valor de entrada que recibe la fuente.

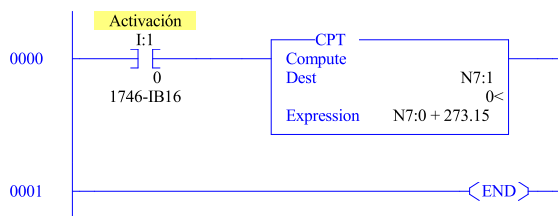


Figura 3. Símbolo de la instrucción CPT

**6. Instrucción CPT.-** Esta instrucción permite realizar operaciones aritméticas, de copia, lógicas y conversiones, definiendo la operación a realizar en el parámetro *Expression*, y almacenando el resultado en el parámetro *Dest*. El destino puede ser un archivo N7 o F8.

Es útil para convertir un número de un formato a otro, para manipular números, para realizar operaciones trigonométricas, entre otros. Solo pueden usarse las operaciones: ADD, SUB, MUL, DIV, SQR, NEG, NOT, XOR, OR, AND, TOD, FRD, LN, TAN, ABS, DEG, RAD, SIN, COS, ATN, ASN, ACS, LOG y XPY [Allen-Bradley, 2008].

El tiempo de ejecución de esta instrucción es más largo que el de una operación aritmética simple y usa más palabras de almacenamiento.





La impresión de este documento es una copia no controlada

**7. Emulador de entradas y salidas analógicas.** Cuando se desarrolla la solución de automatización o control de procesos continuos, no siempre se tiene acceso a las variables de interés, debido a que implicaría parar el proceso o tener un funcionamiento inadecuado. Es por ello que surge la necesidad de utilizar herramientas que permitan la emulación de señales analógicas, para desarrollar una solución adecuada sin comprometer la disponibilidad del proceso.

Una de estas herramientas es el emulador de entradas y salidas analógicas (ver Figura 4). Este software permite la emulación de una señal continua, ajustando su rango de entrada en voltaje o corriente, de acuerdo a la Tabla 1. Mediante el protocolo de comunicación OPC, permite la selección de un tópicos del servidor RSLinx y así, desde RSLogix 500 utilizar esa señal emulada para evaluar el funcionamiento de la rutina desarrollada.

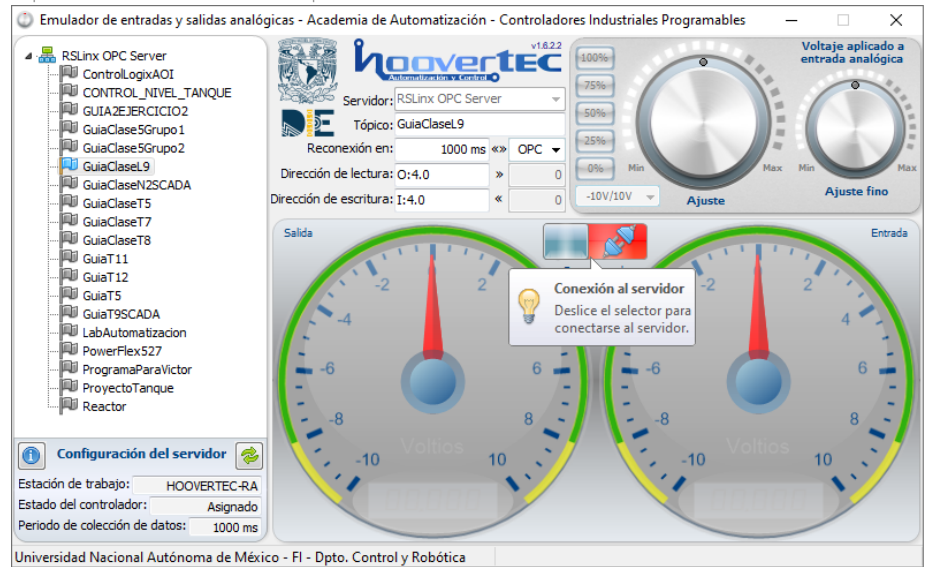


Figura 4. Panel frontal del emulador de entradas y salidas analógicas

**7a. Configuración y uso del Emulador.-** Descargue su rutina de control o automatización en RSLogix Emulate 500 con ayuda del driver EMU500-1. Posteriormente cambie el controlador a modo REM Run y ejecute el Emulador de entradas y salidas analógicas Hoovertec v1.6.2.2. El servidor RSLinx se selecciona automáticamente, por lo que solo debe seleccionar el tópicos de trabajo. Verifique que la dirección de lectura y escritura sean las correctas, seleccione el rango de voltaje o corriente requerido y conecte el emulador, desplazando el *slider* de conexión.

Es recomendable configurar el servidor DDE/OPC RSLinx a una velocidad de colección de datos equivalente a 10 ms. Esta tarea se realiza modificando el parámetro "Polled Messages" ubicado en la pestaña "Data Collection" que se encuentra en el menú "DDE/OPC Topic Configuration..." de RSLinx Classic Gateway.

## V. Desarrollo de la actividad

### 1. MONITOREO DE TEMPERATURA EN UN REACTOR DE FISIÓN NUCLEAR

**Descripción y especificaciones del proyecto.-** Dentro del proyecto de expansión de una planta nuclear se considera viable la implementación de un reactor de fisión tipo BWR (*Boiling Water Reactor*) para la generación de energía eléctrica a través del vapor generado por este. Ver Figura 5.

Dado que el circuito agua/vapor en el núcleo del reactor opera a 7 MPa (900 psi) y el agua hierve a una temperatura aproximada de 290°C [Lamarsh y Baratta, 2001]; se vuelve imperativo monitorear la temperatura del agua dentro del núcleo para evitar que, en caso de falla, el combustible nuclear continúe generando calor residual por decaimiento radioactivo a una tasa aproximada del 7% de la potencia total del reactor, llevando al agua a descomponerse en hidrógeno y oxígeno, lo que derivaría en una posible explosión. Por ello, el responsable de seguridad del proyecto consideró el monitoreo remoto de la temperatura empleando un controlador industrial SLC 5/04 AB al cual está conectado un transmisor de temperatura con salida de 0 a 10 VDC en la terminal de conexión 0 del módulo de entradas analógicas 1746-NIO4V, ubicado en el *slot* 4, y tres lámparas indicadoras en un módulo de salidas discretas 1746-OB16 ubicado en el *slot* 3 del controlador.

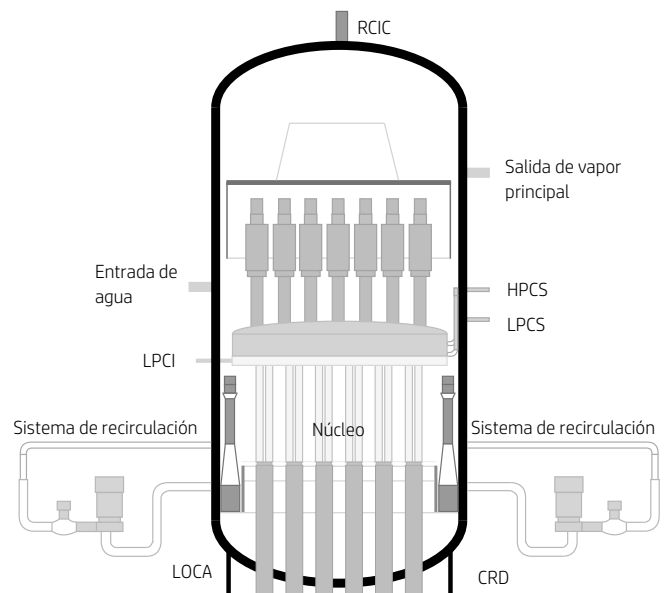


Figura 5. Reactor nuclear de agua hirviendo (BWR)



1.- En RSLogix 500, cambie el *chassis* del controlador de 4 slots, por un *chassis* de 7 slots. Adicionalmente configure los módulos de entrada y salida como se muestra en la Figura 6.

2.- Considerando que la señal de voltaje del transductor es proporcional al rango de 100°C a 500°C, emplee la instrucción SCL para escalar el valor de la señal del transductor, al rango de temperatura especificado. Almacene el valor de la temperatura en el registro N7:0.

3.- A partir del valor de temperatura, implemente un sistema de seguridad y evalúe el funcionamiento de la rutina de control usando RSLogix 500 Emulate con el *driver* EMU500-1, donde se cumplan las siguientes condiciones:

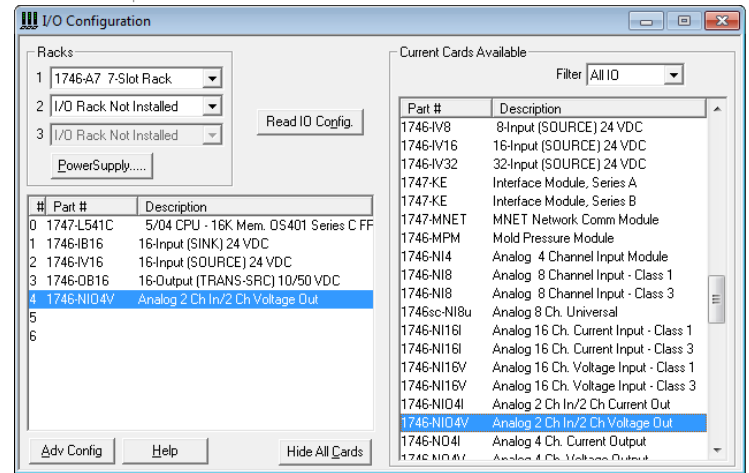


Figura 6. Cambio de rack y configuración de módulos de I/O

- Si la temperatura es mayor a 400°C, se activa la salida O:3/1 a intervalos de 250 ms de encendido por 250 ms de apagado (Lámpara HIGH), lo cual indica riesgo de explosión.
- Si la temperatura está en el rango de 200° y 400°C se activa la salida O:3/2. Esta permanecerá encendida (Lámpara NORMAL), ya que indica una temperatura dentro del rango seguro.
- Si la temperatura es menor a 200°C, se activa la salida O:3/3 a intervalos de 500 ms de encendido por 500 ms de apagado (Lámpara LOW) y esta indica que la mezcla agua/vapor está sobrepasando el punto de ebullición.

### Entregables del proyecto:

1. Tabla de ordenamiento de variables para el monitoreo de temperatura en un reactor de fisión nuclear.
2. Diagrama de conexiones al controlador SLC 5/04 con base a la norma IEC 61082-1, para el monitoreo de temperatura en un reactor de fisión nuclear.
3. Rutina de control en LD IEC 61131-3 debidamente comentada para el monitoreo de temperatura.

## 2. CONVERSIONES

1.- Implemente una rutina de control con las siguientes conversiones usando únicamente instrucciones matemáticas:

- Conversión de temperatura de grados Celsius a Kelvin.
- Conversión de temperatura de grados Celsius a Fahrenheit.
- Convertir de litros por segundo a galones por minuto.

Utilice los archivos de datos N7 y/o F8 para almacenar los resultados.

2.- Modifique la rutina anterior e implemente la siguiente conversión usando únicamente la instrucción CPT (Calcular)

- Convertir de toneladas horas a kilogramos por minuto.

3.- Verifique el funcionamiento de la rutina usando RSLogix 500 Emulate con el *driver* EMU500-1.

### Entregables del proyecto:

1. Rutina de control en LD IEC 61131-3 debidamente comentada para las conversiones solicitadas.





## VI. Cuestionario

1. ¿Cuál es el rango permisible de valores en la pendiente o *rate* de la instrucción SCL?

---

---

---

2. Describa cuales son las funciones que pueden implementarse con la instrucción CPT.

---

---

---

3. Mencione las diferencias entre los archivos de datos N7 y F8.

---

---

---

## VII. Actividad de investigación

Investigue cómo es la actualización de los bits de *Status* de las instrucciones matemáticas disponibles en el controlador SLC 5/04 de AB y qué información proporciona cada uno de ellos. Consulte [Allen-Bradley, 2008].

---

---

---

---

---

---

---

---

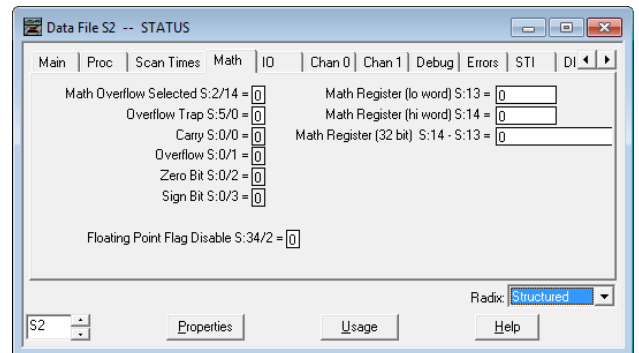


Figura 7. Registro Status: Math

## VIII. Conclusiones y observaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

## Referencias

[Allen-Bradley, 2004] Allen-Bradley (2004). SLC 500 4-Channel Analog I/O Modules User Manual. User Manual 1746-UM005B-EN-P, Rockwell Automation. Rev. B. (Citado en página 21.)

[Allen-Bradley, 2008] Allen-Bradley (2008). SLC 500 Instruction Set Reference Manual. Reference Manual 1747-RM001G-EN-P, Rockwell Automation. Rev. G. (Citado en páginas 22 y 25.)

[Lamarsh y Baratta, 2001] Lamarsh, J. R. y Baratta, A. J. (2001). *Introduction to Nuclear Engineering*. Prentice Hall. (Citado en página 23.)





## I. Objetivos

- ☞ Conocer las instrucciones de manejo de datos MOV, MVM y la instrucción matemática SCP.
- ☞ Implementar y evaluar una rutina de control para la solución de un proyecto de procesos continuos empleando la instrucción SCP.
- ☞ Ejecutar rutinas de control para la transferencia de datos por medio de las conversiones A/D y D/A.

## II. Recursos





### 1. Software

- a) Microsoft Windows 10 Pro.
- b) RSLinx Classic Gateway v4.30.
- c) RSLogix 500 v12.01.
- d) RSLogix Emulate 500 v6.00.
- e) Emulador de entradas y salidas analógicas Hoovertec v1.6.2.2.

### 2. Equipos, instrumentos, herramientas y accesorios

- a) Computadora Intel Core i9-10900K 5.3GHz, 16GB RAM.
- b) Controlador Allen-Bradley SLC 5/04 1747-L541C 16K Mem. Series C FRN 3-8.
- c) Convertidor USB a RS-232C.
- d) Cable de comunicación null-modem Allen-Bradley 1747-CP3.

## III. Seguridad en la ejecución de la actividad

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado	Medidas de control	Verificación
1 <sup>ro</sup>	Voltaje alterno 	Electrocución 	Identificar los puntos energizados antes de realizar la actividad y evitar contacto	
2 <sup>do</sup>	Voltaje continuo 	Daño a equipo 	Verificar polaridad y nivel antes de realizar la conexión del equipo o dispositivo	
Apellidos y nombres:				

## IV. Fundamento teórico

**Instrucción de manejo de datos MOV.-** Esta instrucción de salida (Figura 1), permite mover el valor de fuente al lugar de destino. Siempre que el peldaño permanezca encendido, la instrucción mueve los datos durante cada *scan*, [Allen-Bradley, 2008].

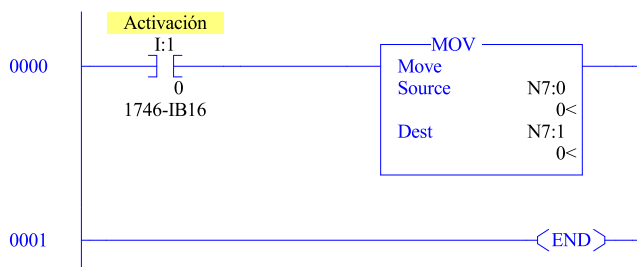


Figura 1. Bloque MOV

La fuente (*Source*): Es la dirección o constante de los datos que desea mover, por ejemplo I:1, S:3, N7:0, B3:3, o T4:0.ACC.

El destino (*Dest*): Es la dirección a la cual la instrucción mueve los datos, por ejemplo I:1, S:3, N7:0, B3:3, o T4:0.ACC.

**Instrucción de manejo de datos MVM.-** La instrucción *Masked Move* (Figura 2) permite enmascarar partes de los datos de destino (*Dest*) mediante una palabra separada. La instrucción MVM decide qué partes de los datos de la fuente (*Source*) pasen a través de una máscara (*Mask*), que es una palabra separada, a la dirección de destino. Esta instrucción se lleva a cabo en cada *scan* siempre que las condiciones del peldaño sean verdaderas. El valor de la fuente no se modifica por este comando.

L10

L10



La impresión de este documento es una copia no controlada

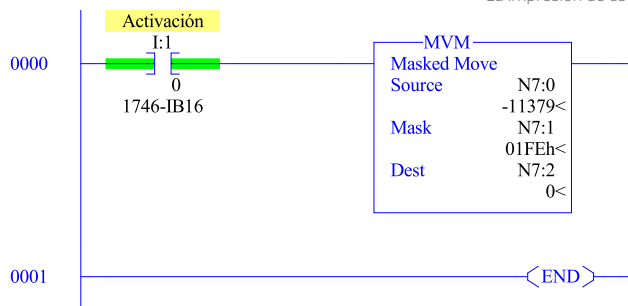


Figura 2. Bloque MVM

La fuente (*Source*): Es la dirección o constante de los datos que desea mover, tales como I:1, S:3, N7:0, B3:3, o T4:0.ACC.

La máscara (*Mask*): Actúa como un filtro para la dirección del destino; la máscara actúa como un comando lógico AND. El valor de máscara puede ser binario, decimal o hexadecimal. El valor de la máscara se mostrará en hexadecimal.

El destino (*Dest*): Es la dirección a la cual la instrucción mueve los datos, por ejemplo I:1, S:3, N7:0, B3:3, o T4:0.ACC.

**Escalamiento con el controlador.-** La operación de escalamiento permite adecuar la variable a medir a su lectura máxima y mínima en el proceso con la entrada analógica y su número de bits respectivos. El módulo de entrada analógica transforma los valores de tensión a valores fluctuantes entre 0 y 32767, que son llamados números de cuenta.

**Instrucción matemática SCP.-** Esta instrucción de salida consta de 6 parámetros. Los parámetros pueden ser de tipo *integer*, *long*, *floating point*, valores inmediatos, o valores contenidos en direcciones. El valor de entrada es escalado a un rango determinado creando una relación lineal entre el valor mínimo y máximo de entrada y el mínimo y máximo valor escalado. El resultado escalado es devuelto a la dirección indicada por el parámetro de salida.

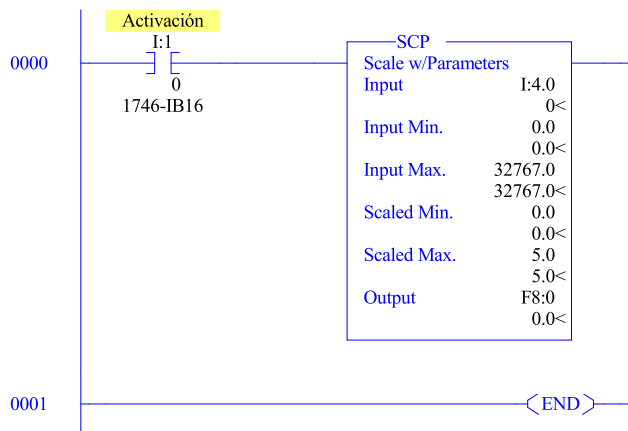


Figura 3. Bloque SCP

Input - Valor a ser escalado (dirección)

Input Min - Valor mínimo de la entrada

Input Max - Valor máximo de la entrada

Scaled Min - Valor mínimo de la escala

Scaled Max - Valor máximo de la escala

Output - Dirección para el valor escalado

## V. Desarrollo de la actividad

### 1. CONTROL DE NIVEL DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO

**Descripción y especificaciones del proyecto.-** Uno de los aspectos primordiales para cumplir con el suministro de agua potable a una población, es su almacenamiento y regulación. Operar un sistema de distribución implica desde la variación de consumo a lo largo del día hasta el manejo de los sistemas de válvulas y equipos de bombeo que se encuentran en cada uno de los tanques de almacenamiento [CONAGUA, 2007].

Se requiere el monitoreo de un tanque de almacenamiento como se observa en la Figura 4 implementando un control manual (para accionar la bomba en caso de emergencia), un control automático (controlar el nivel del agua) así como sus respectivas alarmas por medio de lámparas indicadoras (cuando no hay vigilancia continua), empleando un Controlador Allen Bradley SLC 5/04 1747-L541 Rev C al cual está conectado un sensor de nivel con salida de 0 a 10 VDC en la terminal de conexión 0 del módulo de entradas analógicas 1746-NIO4V.

Considerando que la señal de voltaje se da por la lectura de un sensor de nivel por resistencia variable, es cual está conectado a una tarjeta de entrada analógica, y es proporcional al rango de 0 a 5 metros, emplee la instrucción SCP.

Deberá considerar un *chassis* de 7 *slots* con la siguiente configuración:



La impresión de este documento es una copia no controlada

- **Slot 0.-** Procesador 1747-L541C 16K Series C FRN 3-8.
- **Slot 1.-** Módulo de entradas discretas 1746-IB16.
- **Slot 2.-** Módulo de entradas discretas 1746-IV16.
- **Slot 3.-** Módulo de salidas discretas 1746-OB16.
- **Slot 4.-** Módulo de entradas analógicas 1746-NIO4V.

#### Control manual:

- La bomba debe llenar agua a un tanque cuando se enciende el motor **M1** (O:2/3), mismo que se acciona por medio del pulsador de arranque **S1**(I:1/1).
- La bomba deja de funcionar cuando se activa el pulsador de parada **S0** (I:1/0).

#### Control automático:

- El tanque de almacenamiento debe llenarse accionando la bomba cuando el sensor indique que el nivel de agua es mínimo.
- La bomba deja de funcionar cuando el nivel de agua está en máximo.

#### Sistema de lámparas indicadoras:

- Cuando la bomba funciona, la lámpara **H0** (O:3/2) estará encendida permanentemente.
- En caso de una falla en el motor, la lámpara **H0** pasa a ser intermitente con una frecuencia de 0.390625 Hz.
- Si el tanque está lleno, la lámpara **H1** (O:3/0) estará encendida permanentemente.
- Si el tanque está vacío, la lámpara **H2** (O:3/1) se encenderá de forma intermitente a una frecuencia de 0.195313 Hz.

#### Entregables del proyecto:

1. Tabla de asignación de variables para control de nivel de un tanque de almacenamiento.
2. Diagrama de conexiones al controlador SLC 5/04 con base a la norma IEC 61082-1, para control de nivel de un tanque.
3. Rutina de control en LD IEC 61131-3 debidamente comentada.

## 2. CONVERSIÓN ANALÓGICA DIGITAL

1. Ingrese el programa como se observa en la Figura 5.
2. Verifique que la tarjeta de entrada analógica 1746 NIO4I ocupa el *slot* 4 en el emulador del SLC 5/04.
3. Proceda a aplicar una tensión de -10.0 VDC al CH 0 de entradas analógicas del PLC por medio de la herramienta EmuladorIOA. Ingrese en la palabra I:4.0 los datos de entrada en su valor decimal.
4. Repita el procedimiento para los valores de tensión indicados en la Tabla 1 y anótelos.
5. Represente en el eje X los voltajes ajustados y en el eje Y los valores digitales logrados del punto anterior en la Figura 6.
6. ¿Es lineal la conversión A/D?

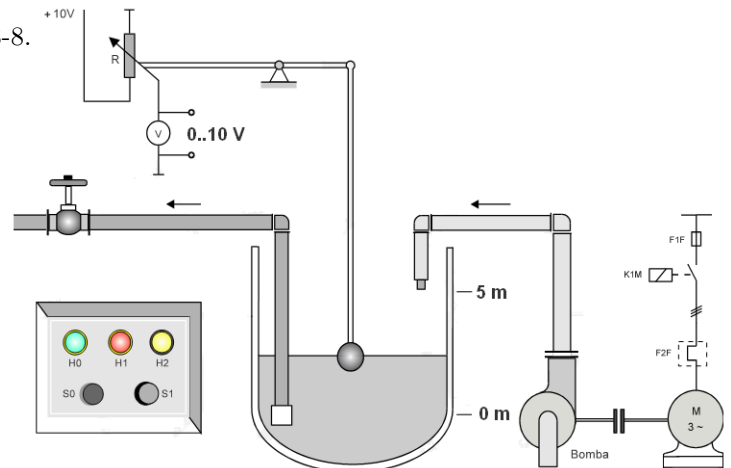


Figura 4. Sistema de bombeo

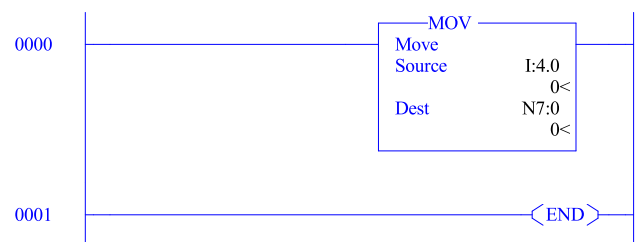


Figura 5. Conversión A/D con el bloque MOV



La impresión de este documento es una copia no controlada

7. ¿Cuál es la expresión matemática que describe la relación encontrada? Ecuación:  $Y = f(x) \Rightarrow Y =$

Voltaje (V) (I:4.0)	Valor Digitalizado (N7:0)
+10V	
+7.5V	
+5V	
+2.5V	
0V	
-2.5V	
-5V	
-7.5V	
-10V	

Tabla 1. Conversión A/D

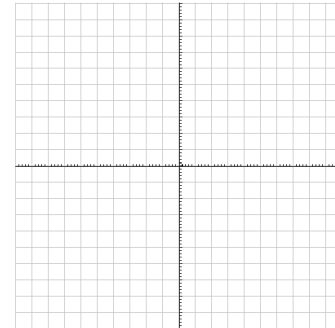


Figura 6. Papel milimetrado

### 3. CONVERSIÓN DIGITAL ANALÓGICA

1. Ingrese el siguiente programa como se observa en la Figura 7.
2. Verifique que la tarjeta de entrada analógica 1746 NIO4I ocupa el *slot* 4 del SLC 5/04.
3. Llene la Tabla 2 indicando los valores de las corrientes obtenidas para cada uno de los valores enteros indicados.

Voltaje Entero (N7:1)	Corriente (mA) (O:4.0)
0	
6242	
31208	
32767	

Tabla 2. Conversión D/A

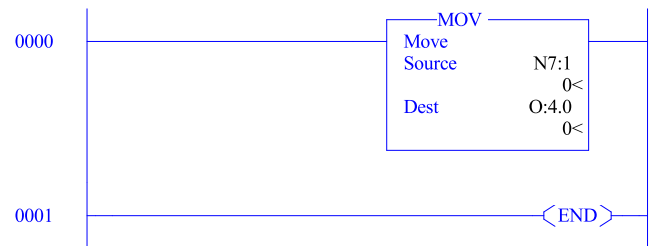


Figura 7. Conversión D/A con el bloque MOV

## VI. Cuestionario

Con base en la rutina de control en LD IEC 61131-3 que se observa en la Figura 8 responda el siguiente cuestionario:

1. ¿Cuál es la función del bit auxiliar ACTIVO?

---



---



---

2. ¿Por qué el valor del *preset* del temporizador es 6?

---



---



---

3. ¿Qué pasaría con el funcionamiento de la rutina si el bit “START” permanece encendido?

---



---



---



## VII. Actividad de investigación

En una tabla comparativa describa las características de las instrucciones SCL y SCP. Consulte el manual de referencia [Allen-Bradley, 2008].

## VIII. Conclusiones y observaciones

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

## Referencias

- [Allen-Bradley, 2008] Allen-Bradley (2008). SLC 500 instruction set reference manual. Reference Manual 1747-RM001G-EN-P, Rockwell Automation. Rev. G1. (Citado en página 27.)
- [Allen-Bradley, 2008] Allen-Bradley (2008). SLC 500 Instruction Set Reference Manual. Reference Manual 1747-RM001G-EN-P, Rockwell Automation. Rev. G. (Citado en página 31.)
- [CONAGUA, 2007] CONAGUA (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Citado en página 28.)

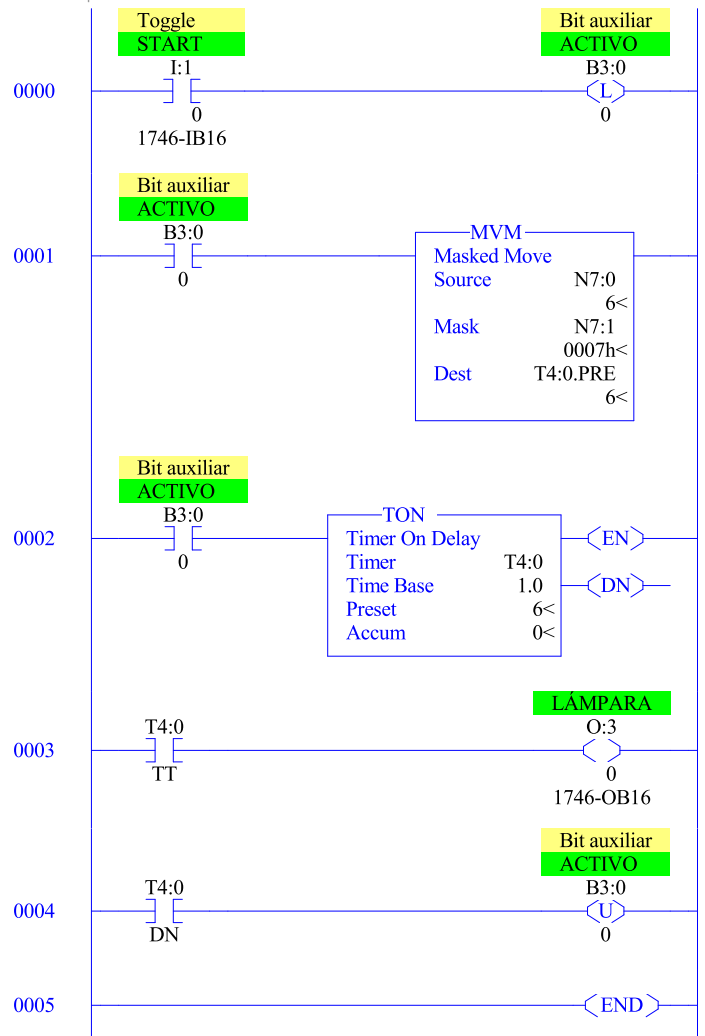


Figura 8. Rutina en LD 61131-3