

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA  
PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA DE 10 t/h**

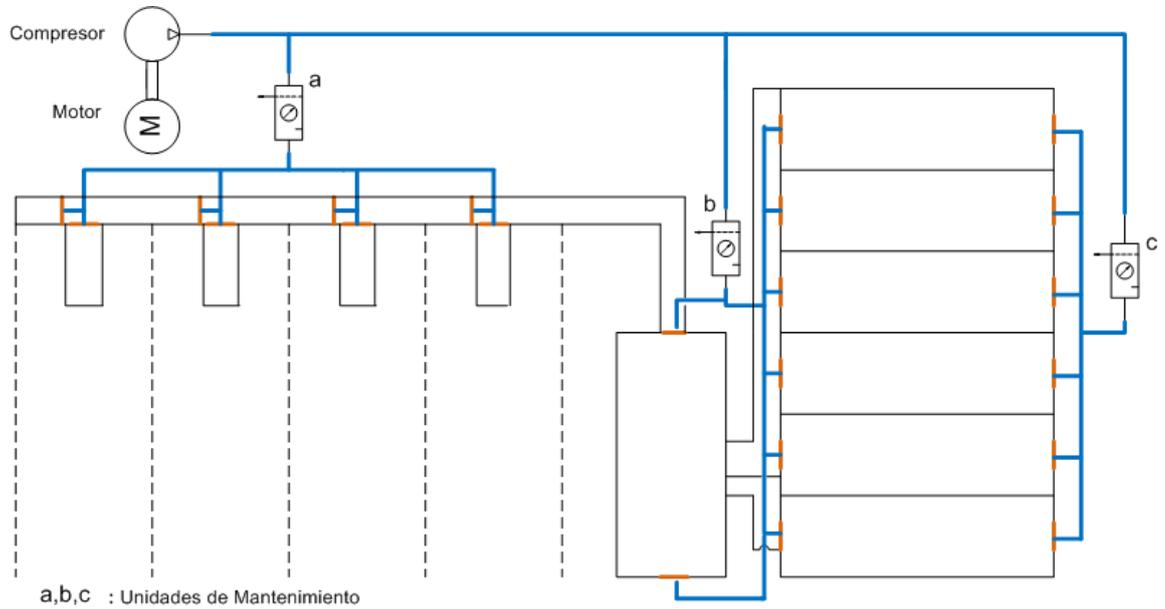
Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**José Martín Requena Torpoco**

ASESOR: José Dávalos Pinto

**Lima, Agosto del 2012**

**ANEXO 1: DISTRUBUCIÓN FÍSICA DE LAS UNIDADES DE MANTENIMIENTO EN LA PLANTA**



**Figura 1.** Distribución de las Unidades de Mantenimiento en la Planta

**ANEXO 2: FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA SENSORES Y SOLENOIDES**

**Tabla 1.** Características de la Fuente de Alimentación

Fuente de Alimentación	Descripción	
	Funcionamiento	Convertidor AC/DC con salida regulable
	Marca	Telemecanique
	Voltaje de Entrada	220Vac/60Hz
	Voltaje de Salida	24Vdc/2.5 A

### ANEXO 3: CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

La presión normal de trabajo del compresor es de 10 bar ó 10.20 Kg/cm<sup>2</sup> y el caudal es de 23.9 l/s ó 1434 l/min y la pérdida de carga promedio es de 0.1 Kg/cm<sup>2</sup> por cada 10m. Debido a que la longitud máxima que tendrá la tubería es de 30 metros, se realiza el cálculo del diámetro de la tubería con esta longitud siendo el caso más crítico. En el monograma según los datos anteriores se aprecia que el diámetro de la tubería será de 1/2".

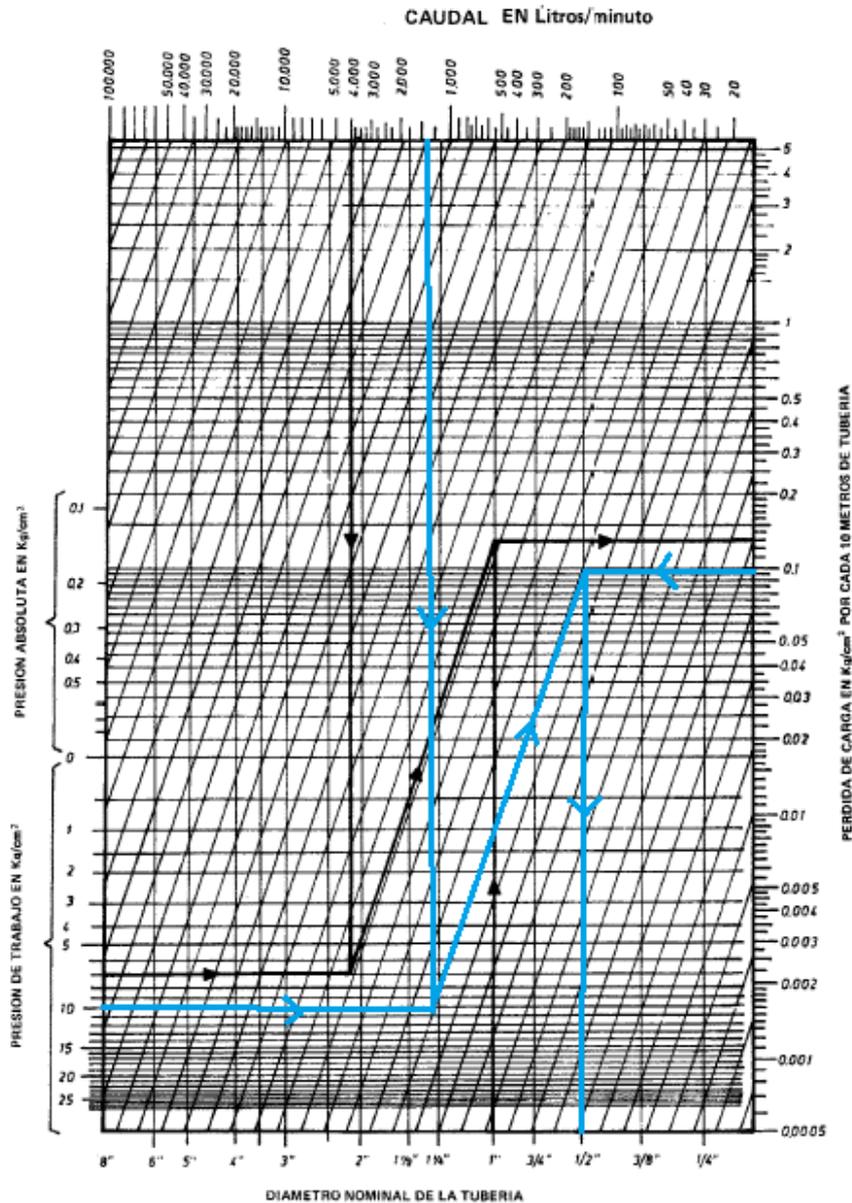
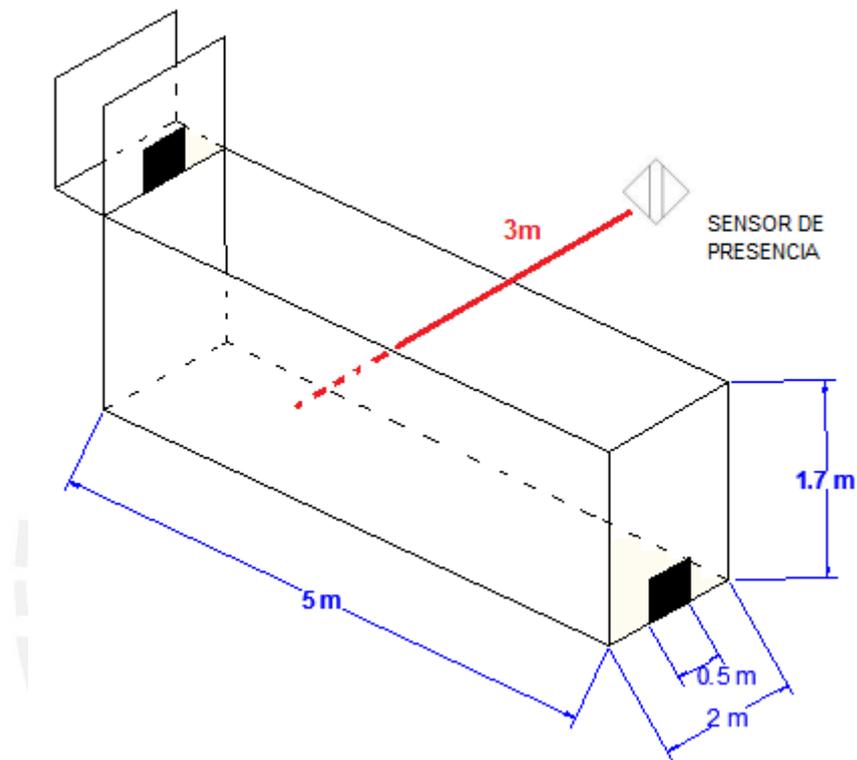


Figura 2. Monograma para el Cálculo del diámetro de Tuberías

## ANEXO 4. UBICACIÓN DE LOS SENSORES

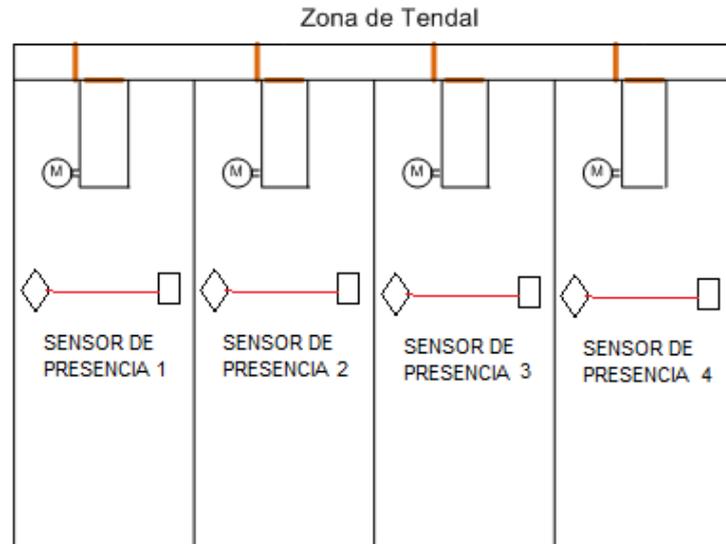
### 4.1. UBICACIÓN DEL SENSOR DE PRESENCIA FOTOELÉCTRICO DIFUSO REFLECTIVO EN LA POZA DE REMOJO

Las cinco pozas de remojo tendrán la misma disposición física de su respectivo sensor de presencia como se muestra en la Figura 3.



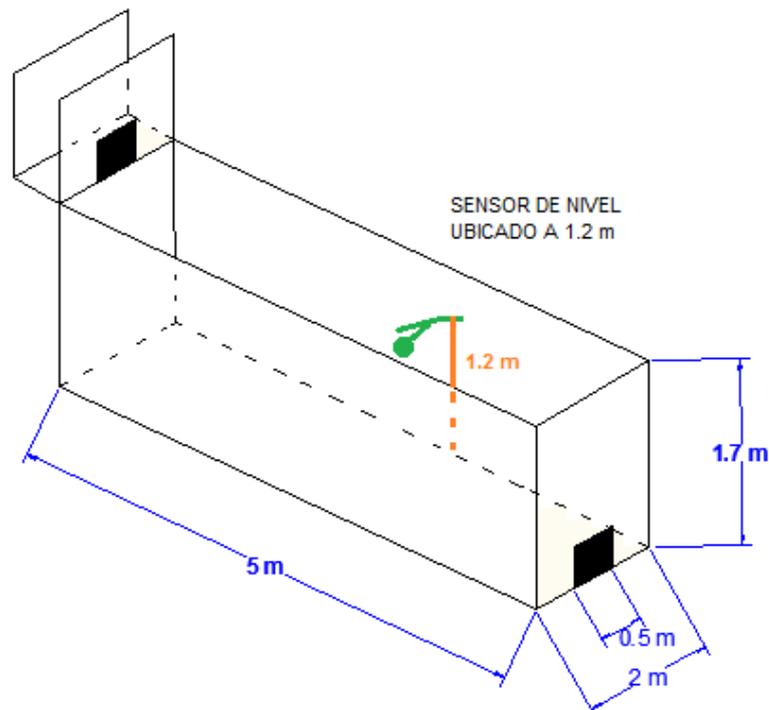
**Figura 3.** Ubicación del Sensor de Presencia en la Poza de Remojo

## 4.2 UBICACIÓN DEL SENSOR DE PRESENCIA DE TIPO BARRERA EN LA ZONA DE TENDAL



**Figura 4.** Ubicación de los Sensores de Presencia en la Zona de Tendal

## 4.3. UBICACIÓN FÍSICA DEL SENSOR DE NIVEL EN LAS POZAS DE REMOJO



**Figura 5.** Ubicación del Sensor de Nivel en la Poza de Remojo

**ANEXO 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES**

**5.1. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE PRESENCIA FOTOELÉCTRICO DE TIPO DIFUSO REFLECTIVO.**

**Tabla 2.** Características del Sensor fotoeléctrico Difuso Reflectivo

<p>Difuso reflectivo: Modelo</p>	<b>Modelo</b>		<b>Difuso</b>
	Tipo de cable	NPN	VD-130
		PNP	Salida relé
	Tipo de conector	NPN	—
		PNP	—
	Tipo de temporizador		VD-130T 0.1-10 sec (ON + OFF delay)
	Rango de detección		1.3 metros
	Voltaje		AC24-240V +/-10% DC12-240V +/-10%
	Consumo de potencia		5VA
	Objeto de detección min		
Tiempo de respuesta		20ms	
Histéresis		20%	
Fuente de luz			
Entrada de prueba		No	
Modo de operación		Light-on	

**5.2. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE PRESENCIA DE TIPO BARRERA**

**Tabla 3.** Características del Sensor fotoeléctrico de Tipo Barrera

	<b>Tipo de salida relé</b>	
	Barrera	
<b>V3 series (cable/QD type)</b>	V3T-4000	
<b>V4 series : (terminal type)</b>	V4T-4000	
Unidad de mantenimiento ( común a V3/V4)	US-34 ( emisor ) UE-34 (receptor )	
Rango de detección	40m	
Tiempo de respuesta	20msec	
Modo de operación	Light ON	
Histéresis	NIL	
Fuente de luz	Red	
Indicador	LED simple (Orange) as output indicator	
Salida de control	Relé NO/NC 240V AC / 30 VDC, 3A	
Voltaje	AC/DC 24-240V, +/- 10% De pico a pico	
Regulación	JIS/C4525, CE, UL	
Consumo de potencia	9.5VA	5VA
Conexión : <b>V3 series</b>	2 meter cable	
<b>V4 series</b>	Terminal chamber, applicable cable ø6 to ø10	
Temperatura ambiente	-25 to 55 °C	
Humedad	35 to 85 % RH	
Temperatura de almacén	- 40 to 70 C / 35 - 95% RH	
Ajuste de sensibilidad	Potenciómetro de 1 vuelta	
Grado de protección	IEC 144, IP66	
Regulación	JIS/C4525, CE, cRUus	
Resistencia al golpe	50G , XYZ 3-ways	
Material de la cubierta	Reforzada con Fibra de vidrio, ABS (cubierta) PMMA (Lente)	

<b>Largas distancias de detección</b>	
Barrera : 40m	

### 5.3. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE NIVEL

**Tabla 4.** Características del Sensor de Nivel

<p><b>Datos técnicos</b></p> <p>Material Presión máxima de trabajo Temperatura de trabajo Color Densidad min. del líquido (SG) Junta Peso</p> <p><b>Datos eléctricos</b></p> <p>Contacto Tensión máxima de conmutación Potencia máxima de conmutación Conexión eléctrica Grado de protección</p>	<p>POM - Poliacetal (tuerca en PA) 2bar -10°C a 100°C Blanco 0,76 NBR (goma nitrílica) 30g</p> <p>NA / NC - SPST 220Vac - 100Vdc 20W/VA - 50W/VA @20ms. 2 x 0,5mm<sup>2</sup> x 40cm - Silicona 125°C IP66</p>	<p><b>Montaje</b></p> <p>NA Funcionamiento Normal Abierto</p> <p>NC Funcionamiento Normal Cerrado</p> <p>Obs. Radio mínimo en tanques cilíndricos: 150mm.</p>
--	--	---

## ANEXO 6. CONTACTORES PARA LOS MOTORES

### 6.1. CORRIENTE DE DISEÑO PARA LOS MOTORES

Se muestra el cálculo de las corrientes de diseño para los motores, considerando un voltaje de línea de 220 Vac y un factor de potencia de 0.85.

**Tabla 5.** Cálculo de la Corriente de diseño para los Motores

Cálculo de la Corriente de Diseño		
$I_{diseño} = 1.25 \times I_{nominal}$		
$I_{nominal} = \frac{\text{Potencia activa del Motor (W)}}{1.7320 \times V_{línea} \times \cos\phi}$		
MOTOR	Inominal (A)	Idiseño (A)
Motor de 10 HP	23.03	28.79
Motor de 1 HP	2.31	2.88

## 6.2. CONTACTORES ELEGIDOS PARA LOS MOTORES

Los contactores son elegidos en base a la corriente de diseño que es igual a 1.25 veces la corriente nominal. En el Anexo 6.1 se calcularon dichas corrientes.

**Tabla 6.** Contactor para los Motores de 1 HP

Contactor A9-30-10	Especificaciones Generales	
	Aplicación	Control de Motores
	Categoría	AC-3
	Polos	3-NA
	Inominal	9 A(= $\leq 55^{\circ}\text{C}$ )
	Voltaje	220Vac 50/60 Hz
	Consumo de bobina	2.8watts/12mA
	Tiempo de Operación	4-19 ms apertura
		12-22 ms cierre
Duración mecánica	15000000 ciclos	

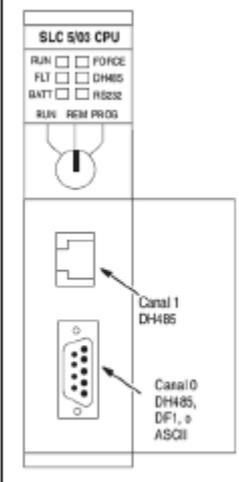
**Tabla 7.** Contactor para el Motor de 10 HP

Contactor A30-30-10	Especificaciones Generales		
	Aplicación	Control de Motores	
	Categoría	AC-3	
	Polos	3-NA	
	Inominal	32 A(= $\leq 55^{\circ}\text{C}$ )	
	Voltaje	220Vac 50/60 Hz	
	Consumo de bobina	4watts/18mA	
	Tiempo de Operación	4-19 ms apertura	
		12-22 ms cierre	
Duración mecánica	15000000 ciclos		

**ANEXO 7. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**

**7.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESADOR 5/03**

**Tabla 8.** Características del Procesador [14]

	Especificación	SLC 5/03
	Memoria de Programa	8K-16K
	Capacidad de E/S	960 discretas
	RAM estándar	Batería de litio 2 años
	Opciones de memoria de reserva	EPROM Flash
	Indicadores Led	Run, Fault, Forced, Battery Low, DH-485 , RS-232
	Programación	RsLogic 500, 6200, AI 500, APS
	Tiempo de Exploración Típica	0.9 ms/K
	Ejecución de bits	0.37uS
	Comunicación	DH-485, RS-232
	Reloj Calendario /Tiempo Real	Si
	Switch de llave	RUN, REM

**7.2. CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO DE ENTRADA**

**Tabla 9.** Características de Módulo de Entrada 1746-IB16 [14]

1746-IB16	Especificaciones Generales	
	Categoría de voltaje	24Vds señal de entrada
	Numero de entradas	16
	Voltaje de Operación	10 a 30 Vdc
	Corriente de entrada	8mA a 24 Vdc
	Retardo de señal	ON = 8ms
		OFF= 8ms
	Temperatura de operación	0°-60°C
	Inmunidad al ruido	Estándar NEMA ICS 2-230
	Aislamiento	1500V

### 7.3. CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO DE SALIDA

Tabla 10. Características del Módulo de Salida 1746-OW16 [14]

1746-IB16	Especificaciones Generales	
	Categoría de voltaje	Relay DC/AC
	Número de salidas	16
	Retardo de señal	ON = 10ms
		OFF= 10ms
	Temperatura de operación	0°-60°C
	Inmunidad al ruido	Estándar NEMA ICS 2-230
	Aislamiento	1500V

## ANEXO 8. RED DE COMUNICACIÓN

### 8.1. CONEXIÓN DEL CABLE BELDEN A UN ACOPLADOR DE INTERFAZ EN UNA RED DH-485

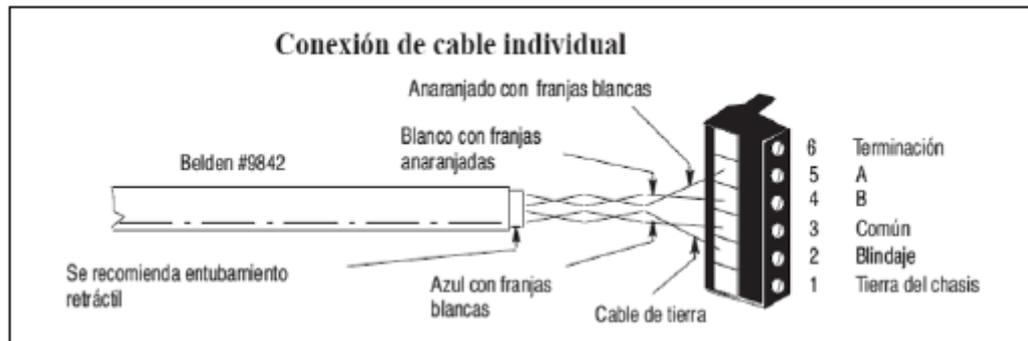


Figura 6. Conexión del Cable Belden #9842

### 8.2. ACOPLADOR DE VÍNCULO AISLADO 1747-AIC

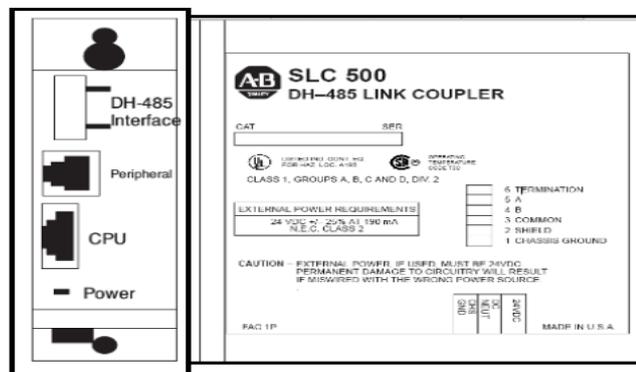
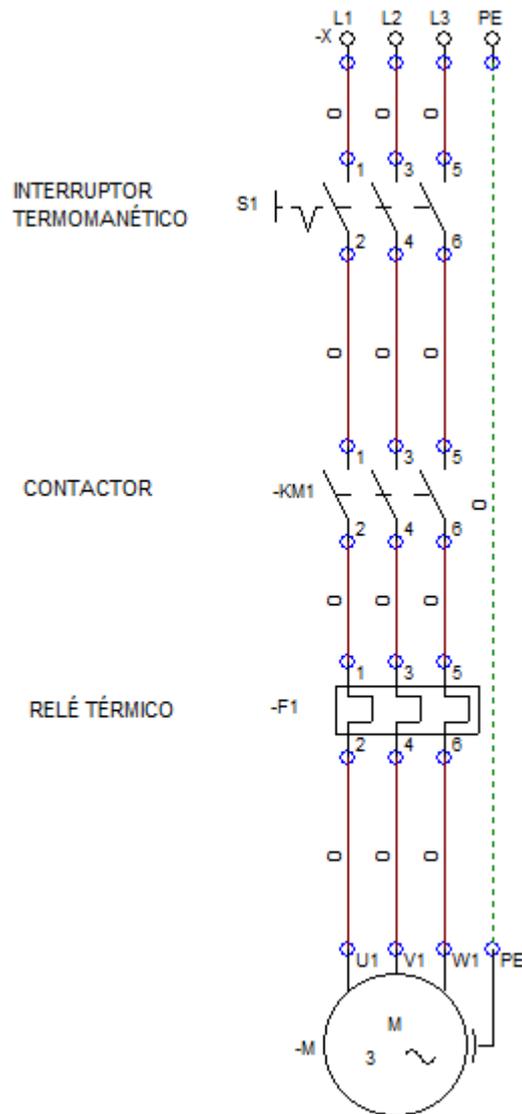


Figura 7. Acoplador de Vínculo Aislado 1747-AIC

## ANEXO 9. CONEXIONES ELÉCTRICAS

### 9.1. CIRCUITO DE FUERZA PARA LOS MOTORES

Cada uno de los motores tendrá el circuito de fuerza presentado en la Figura 8.



**Figura 8.** Circuito de Fuerza para el Control del Motor

## 9.2. CALIBRE DE LOS CONDUCTORES PARA EL CIRCUITO DE FUERZA DE LOS MOTORES

Según los cálculos de los calibres de los conductores para los circuitos de fuerza realizados en base a la corriente de diseño y el factor de corrección como se muestra en la Tabla 11. se elige trabajar con el cable de calibre # 8 AWG para el circuito del motor de 10 HP y el cable de calibre # 14 AWG para el circuito del motor de 1 HP. Para la conexión a tierra se elige el mismo calibre del conductor.

**Tabla 11.** Cálculo del Calibre de los Conductores para el Circuito de Fuerza de los Motores según el CNE.

Calibre de Conductores para el Circuito de Fuerza de los Motores							
Idiseño=1.25Inominal, Iadmisible=Idiseño/FC/, Alimentacion 220 V , FC: Factor de Corrección							
Basada en temperatura de ambiente de 30 °C							
MOTOR	Inominal (A)	Idiseño (A)	FC por # de cables	I admisible (A)	THW I adm(A)	Sección (mm <sup>2</sup> )	AWG
Motor de 10 HP	23.03	28.79	0.70	41.12	50	8.37	8
Motor de 1 HP	2.31	2.88	0.70	4.11	20	2.08	14

## 9.3. SELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS Y RELÉS TÉRMICOS.

El interruptor termomagnético se selecciona en base a la corriente de diseño que es igual a 1.25 veces las corriente nominal. Del anexo 9.2 se obtiene que la corriente de diseño es de 28.79 A y 2.88 A para el motor de 10 HP y 1 HP respectivamente.

**Tabla 12.** Interruptores Termomagnéticos Seleccionados

Tensión máxima de servicio: 440Vac	
Normas/capacidad de Interrupción: IEC 898 / 3KA	
Vida útil: 20000 maniobras mecánicas	
<b>Circuito de Fuerza del Motor de 10 HP</b>	
Interruptor Termomagnético S63 C32	
<b>Circuito de Fuerza de los Motores de 1 HP</b>	
Interruptor Termomagnético S63 C04	

El relé térmico se selecciona en base a la corriente de diseño que para este caso será igual a corriente nominal. Del Anexo 9.2 se obtiene que la corriente nominal es de 23.03 A y 2.31 A para el motor de 10 HP y 1 HP respectivamente, entonces su corriente de diseño será la misma. De acuerdo a dichas corrientes de selecciona los siguientes interruptores:

**Tabla 13.** Relés Térmicos Seleccionados

Motor de 1 HP	Motor de 10HP
Relé Térmico TA 25 DU-A9	Relé Térmico TA 42 DU-A40
	
TA25DU	TA42DU

### 9.4. CONEXIONES DE LOS SENSORES A LOS MÓDULOS DE ENTRADA DEL PLC

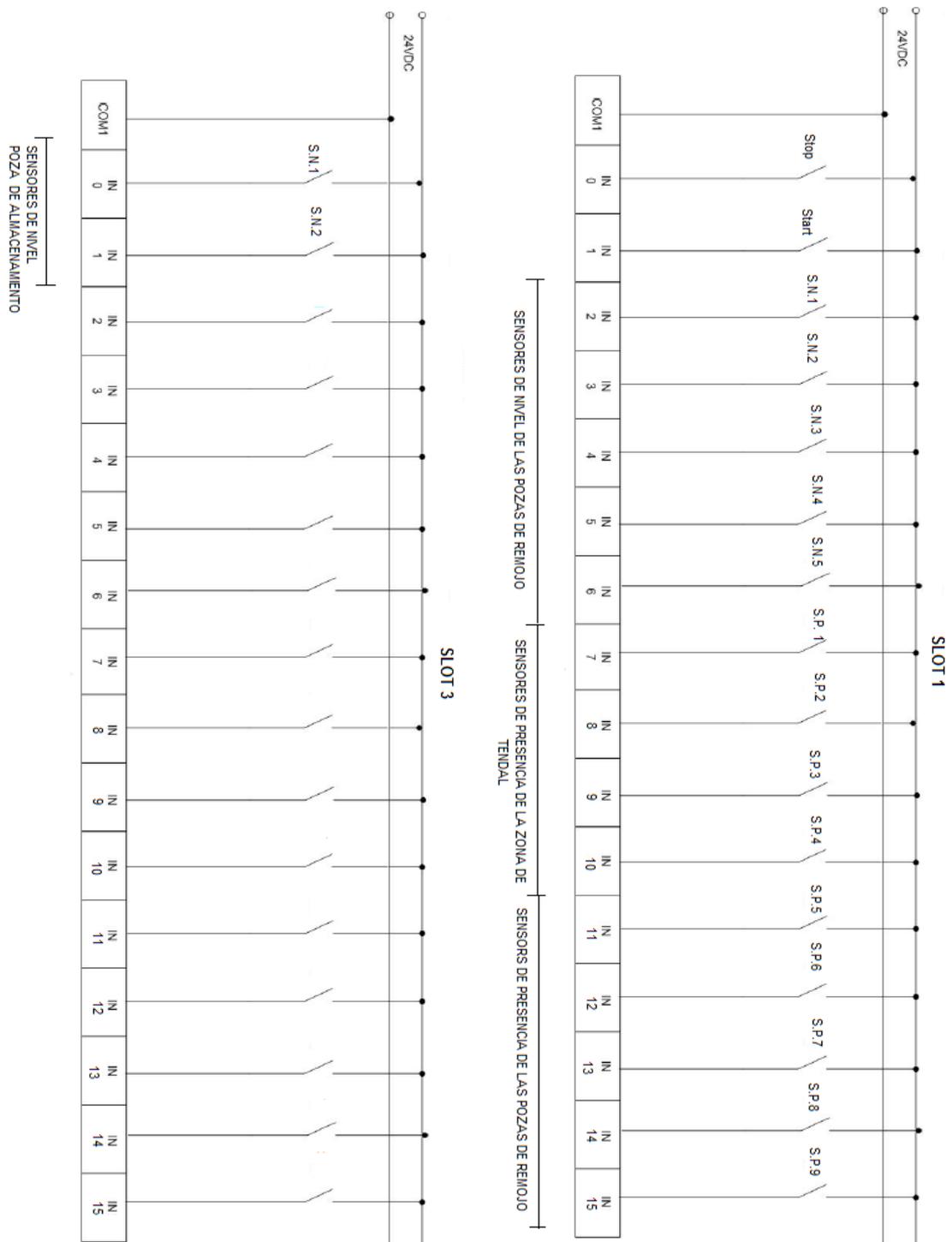


Figura 9. Conexión de los Sensores con los Módulos de Entrada

### 9.5. CALIBRE DE CONDUCTORES PARA EL CABLEADO DE LOS SENSORES AL MÓDULO DE ENTRADA DEL PLC

Se calcula el calibre del conductor en base a la corriente de diseño y el factor de corrección como se muestra en la Tabla 14. En consecuencia se elige trabajar con el cable de calibre # 18 AWG.

**Tabla 14.** Cálculo de calibre del conductor para el cableado de los sensores a los módulos de entrada del PLC, según el CNE.

Idiseño=1.25Inominal, Iadmisible=Idiseño/FC, FC: Factor de Corrección							
Voltaje de salida de los sensores 24Vdc							
Basada en temperatura de ambiente de 30 °C							
Descripción	I módulo de Entrada (mA)	I diseño (mA)	FC por # cables	I admisible (mA)	THW I adm(A)	Sección (mm <sup>2</sup> )	AWG
Sensores de Presencia	8	10	0.85	11.76	< 20	0.823	18
Sensores de Nivel	8	10	0.85	11.76	< 20	0.823	18

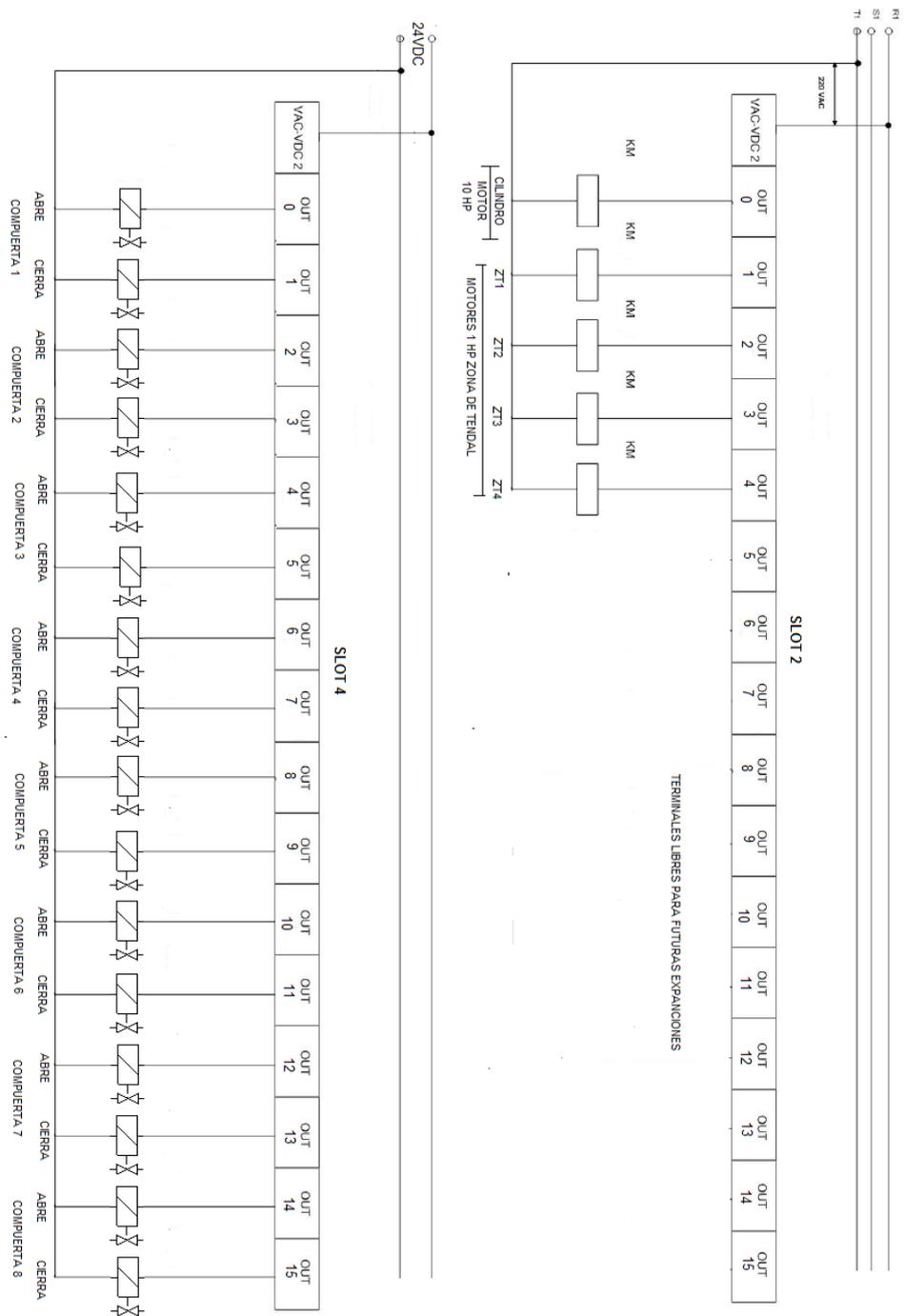
### 9.6. CALIBRE DE DE CONDUCTORES PARA EL CABLEADO DE LA FUENTE DE 24 VDC A LOS SENSORES

Se calcula el calibre del con del conductor en base a la corriente de diseño y el factor de corrección como se muestra en la Tabla 15. Se elige trabajar con el cable de calibre # 18 AWG.

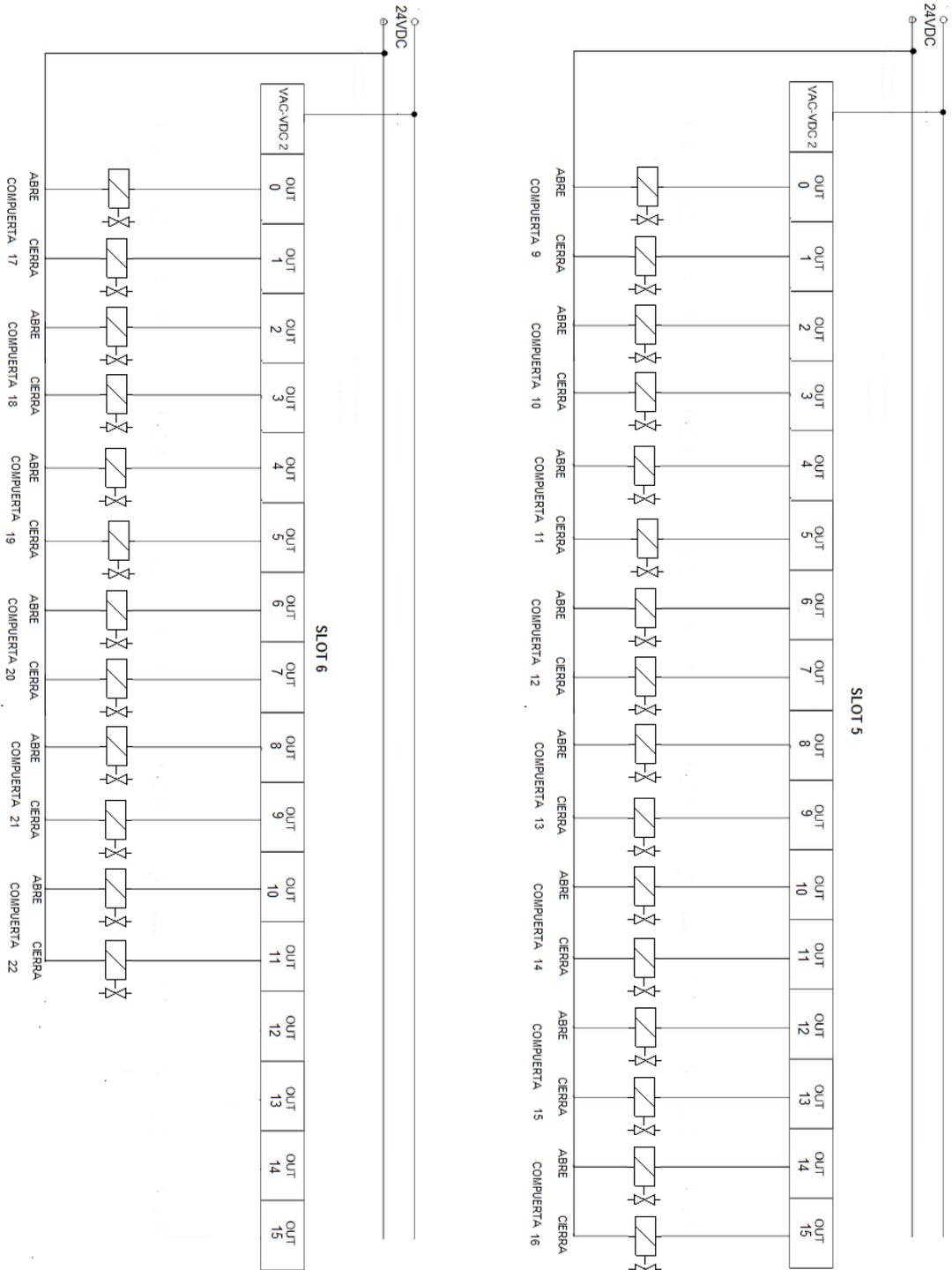
**Tabla 15.** Cálculo de calibre del conductor para el cableado de la fuente de 24 V DC a los sensores, según el CNE.

Idiseño=1.25Inominal, Iadmisible=Idiseño/FC, FC: Factor de Corrección							
Voltaje de Alimentación del la Fuente 24Vdc							
Basada en temperatura de ambiente de 30 °C							
Descripción	Corriente Sensor(mA)	I diseño (mA)	FC por # cables	I admisible (mA)	THW I adm(A)	Sección (mm <sup>2</sup> )	AWG
Sensores de Presencia	25	31.25	0.85	36.76	< 20	0.823	18
Sensores de Nivel	8	10	0.85	11.76	< 20	0.823	18

### 9.7. CONEXIONES DE LOS MÓDULOS DE SALIDA DEL PLC A LOS CONTACTORES Y SOLENOIDES



**Figura 10.** Conexión de Módulos de Salida con las Bobinas de los Motores y Solenoides de la Electroválvulas



**Figura 11.** Conexión de Módulos de Salida con los Solenoides de las Electroválvulas

### 9.8. CALIBRE DE CONDUCTORES PARA EL CABLEADO DE LOS MÓDULOS DE SALIDA A LOS CONTACTORES Y SOLENOIDES

Se calcula el calibre del conductor en base a la corriente de diseño y el factor de corrección como se muestra en la Tabla 14. En consecuencia se elige trabajar con el cable de calibre # 18 AWG.

**Tabla 16.** Cálculo de calibre del conductor para el cableado de los módulos de salida del PLC a los solenoides y contactores, según el CNE.

Idiseño=1.25Inominal, Iadmisible=Idiseño/FC, FC: Factor de Corrección							
Alimentación contactores: 220Vac, alimentación solenoides 24Vdc							
Basada en temperatura de ambiente de 30 °C							
Descripción	Corriente Bobina (mA)	I diseño (mA)	FC por # cables	I admisible (mA)	THW I adm(A)	Sección (mm2)	AWG
Contactador de motor 10HP	18	22.5	0.85	26.47	< 20	0.823	18
Contactador de motor 1HP	12	15	0.85	17.64	< 20	0.823	18
Solenoides de electroválvula	35	43.75	0.85	51.47	< 20	0.823	18

### 9.9. CAIDA DE TENSIÓN PARA LAS CONEXIONES DISEÑADAS

Se calcula la caída de tensión máxima para el cableado diseñado para poder comprobar si el calibre de los conductores elegidos es correcto. La caída de tensión máxima permitida debe ser menor al 2.5%. En la Tabla 16. se muestra la caída de tensión para las conexiones diseñadas y se aprecia que son menores al 2.5%.

**Tabla 17.** Cálculo de la caída de tensión máxima para las conexiones diseñadas.

Idiseño=1.25Inominal, Iadmisible=Idiseño/FC, FC: Factor de Corrección							
Caída de Tensión = $(0.03092 * L^2 * I^2 * \cos\phi) / S$ , donde L: longitud, I: corriente, S: sección							
bobina* del motor* 1HP a 220Vac, bobina** del motor** 10HP a 220Vac, Solenoide de Electroválvula a 24Vdc							
Descripción	Corriente Teórica	Longitud máxima(m)	THW I adm(A)	Sección (mm2)	AWG	Caída de Tensión (V)	Caída de Tensión (%)
Fuente 24Vdc - SP	36.76 mA	30	< 20	0.823	18	0.0414 Vdc	0.17%
Fuente 24Vdc -SN	11.76 mA	14	< 20	0.823	18	0.0061 Vdc	0.02%
SP - Mod. Entrada	11.76 mA	30	< 20	0.823	18	0.0132 Vdc	0.05%
SN - Mod. Entrada	11.76 mA	14	< 20	0.823	18	0.0061 Vdc	0.02%
Mod. Salida - Solenoide	51.47 mA	40	< 20	0.823	18	0.0773 Vdc	0.32%
Mod. Salida a Bobina *	17.64 mA	3	< 20	0.823	18	0.0016 Vac	0.00%
Mod. Salida a Bobina **	26.47 mA	3	< 20	0.823	18	0.0025 Vac	0.00%
Red 220 Vac- Motor*	4.11 A	40	20	2.08	14	2.0772 Vac	0.94%
Red 220 Vac- Motor**	41.12 A	10	50	8.37	8	1.2911 Vac	0.58%

## ANEXO 10. ANÁLISIS DE POSIBLES FALLAS EN EL SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO

**Tabla 18.** Posibles fallas, causas y procedimiento a seguir

Fallas	Posibles Causas	Procedimiento a Seguir
El cilindro neumático no ejecuta la extensión o contracción del vástago	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presión del sistema demasiado baja</li> <li>• Falla del sensor de nivel o de presencia según sea el caso</li> <li>• Sellado defectuoso de la manguera y el acoplamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de la presión en la unidad de mantenimiento y compresor</li> <li>• Calibración o reparación del sensor</li> <li>• Reparación de los accesorios</li> </ul>
No cambia de estado la electroválvula 5/2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en la conexión de la tensión de alimentación del solenoide</li> <li>• Presión de sistema demasiado baja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de la presión en la unidad de mantenimiento y compresor</li> <li>• Verificación de la tensión</li> </ul>
Ruido en el sistema neumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de aire bajo</li> <li>• Filtro obstruido</li> <li>• Motor desgastado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección y reparación del componente</li> </ul>
Calentamiento excesivo del sistema neumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nivel de aire bajo</li> <li>• Sistema obstruido</li> <li>• Motor desgastado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección y reparación del componente</li> </ul>
Ciclos lentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vástagos de los cilindros dañados</li> <li>• Válvula averiada</li> <li>• Nivel de aire bajo</li> <li>• Motor desgastado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección y reparación del componente</li> </ul>
Movimientos excesivos de la manguera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alineación y fijación de la manguera deficientes</li> <li>• Cavitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección y reparación del componente</li> </ul>

MCMXVII

## ANEXO 11. SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO

Se presenta la simulación de la apertura y cierre de 5 compuertas simultáneamente a fin de verificar el correcto dimensionamiento realizado.

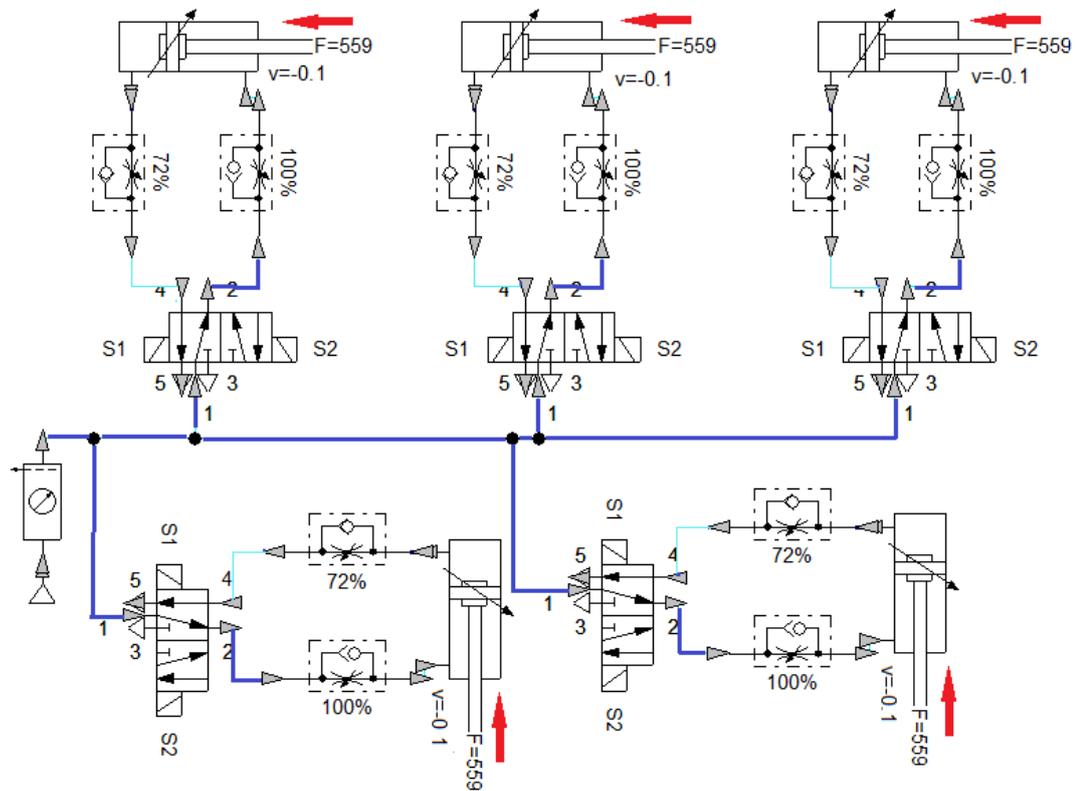


Figura 12. Simulación de la apertura de 5 compuertas

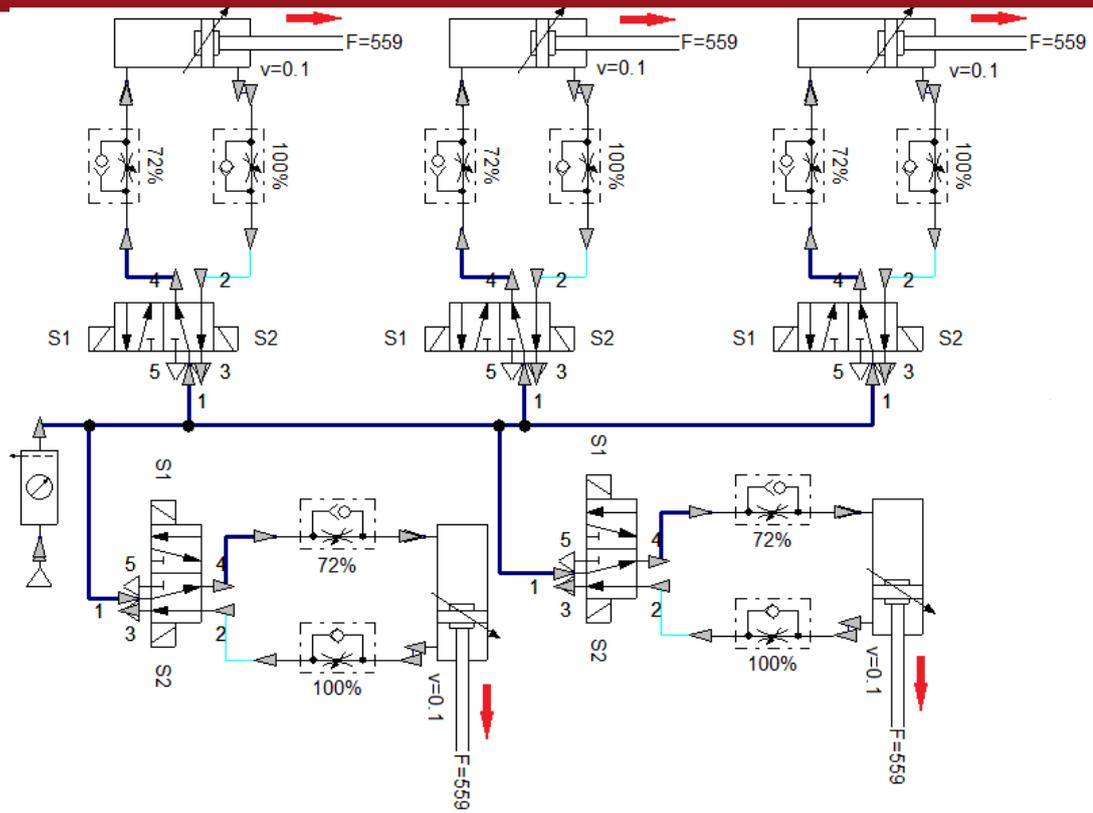


Figura 12. Simulación del cierre de 5 compuertas