



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ASIGNATURA  
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

# Tecnologías para la automatización: Automatismos cableados

Prof. Dr. José Antonio Rodríguez Mondéjar  
[mondejar@comillas.edu](mailto:mondejar@comillas.edu)

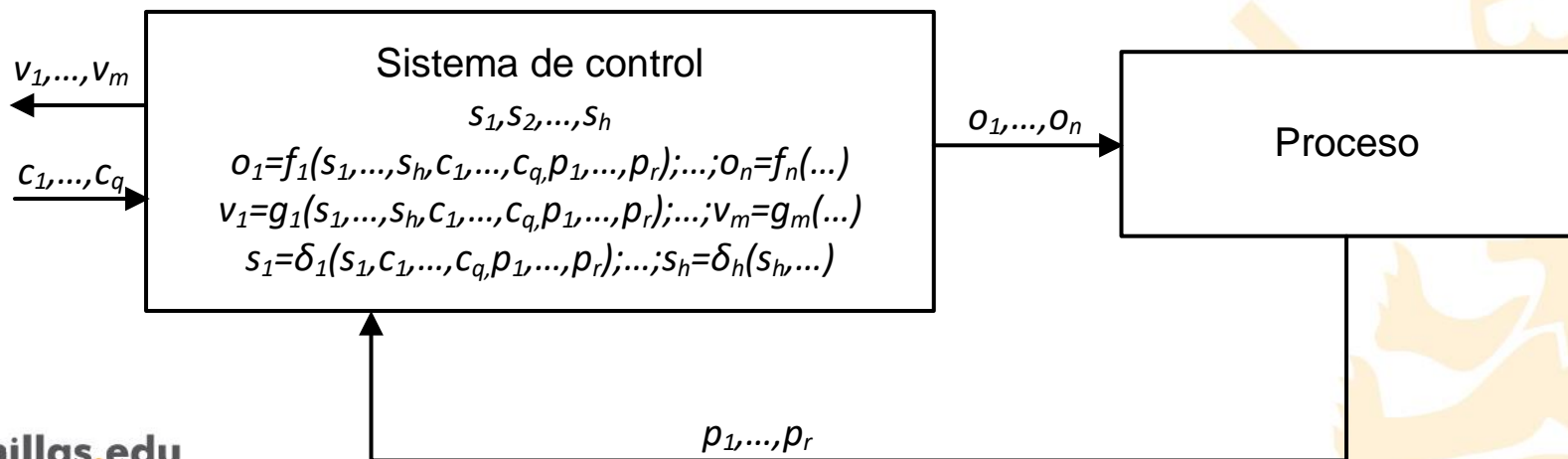
Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI  
Departamento de Electrónica, Automática y Comunicaciones

Enero 2022

**comillas.edu**

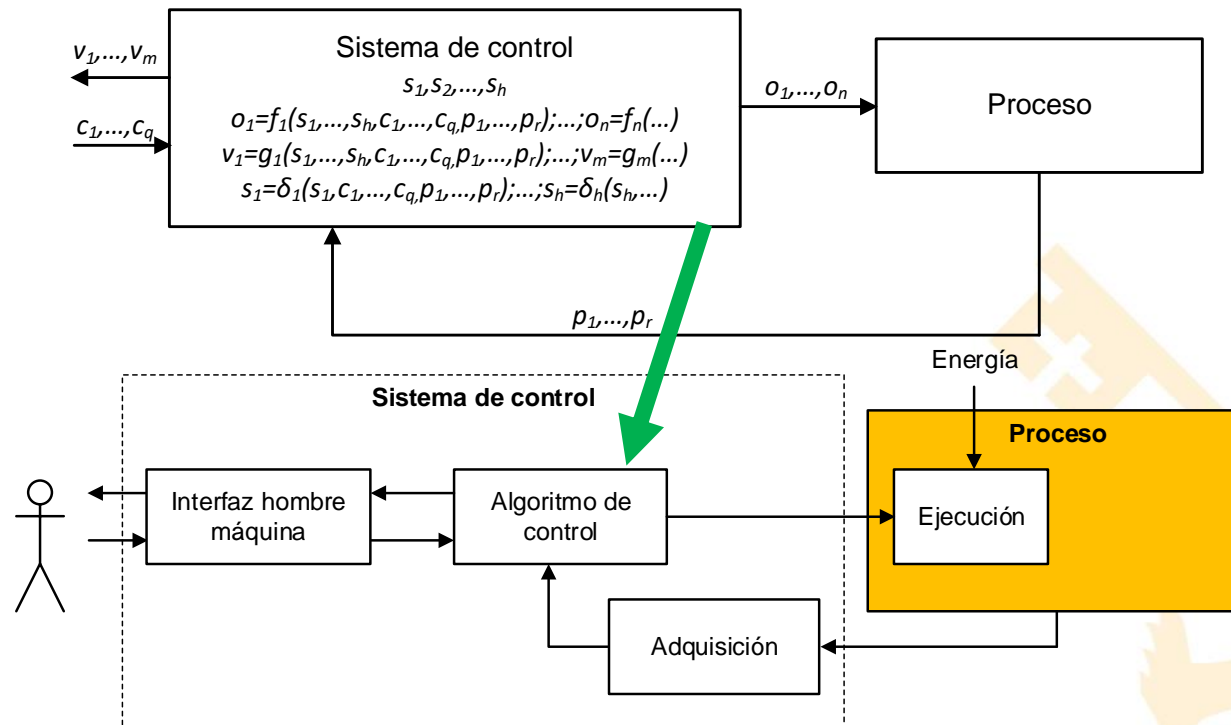
# ¿Qué sabemos ya hacer para automatizar un proceso?

- **Determinar las funciones lógicas del sistema de control**
  - $n$  funciones de control:  $f_i$ 
    - Variables dependientes de tipo orden:  $o_i$
  - $m$  funciones de observación:  $g_i$ 
    - Variables dependientes de tipo información:  $v_i$
  - $h$  funciones de estado:  $\delta_i$ 
    - variables de tipo estado:  $s_i$
    - La versión secuencial no está aún completa
  - $q$  variables independientes de tipo consigna:  $c_i$
  - $r$  variables independientes de tipo proceso:  $p_i$



# Implementación de las funciones

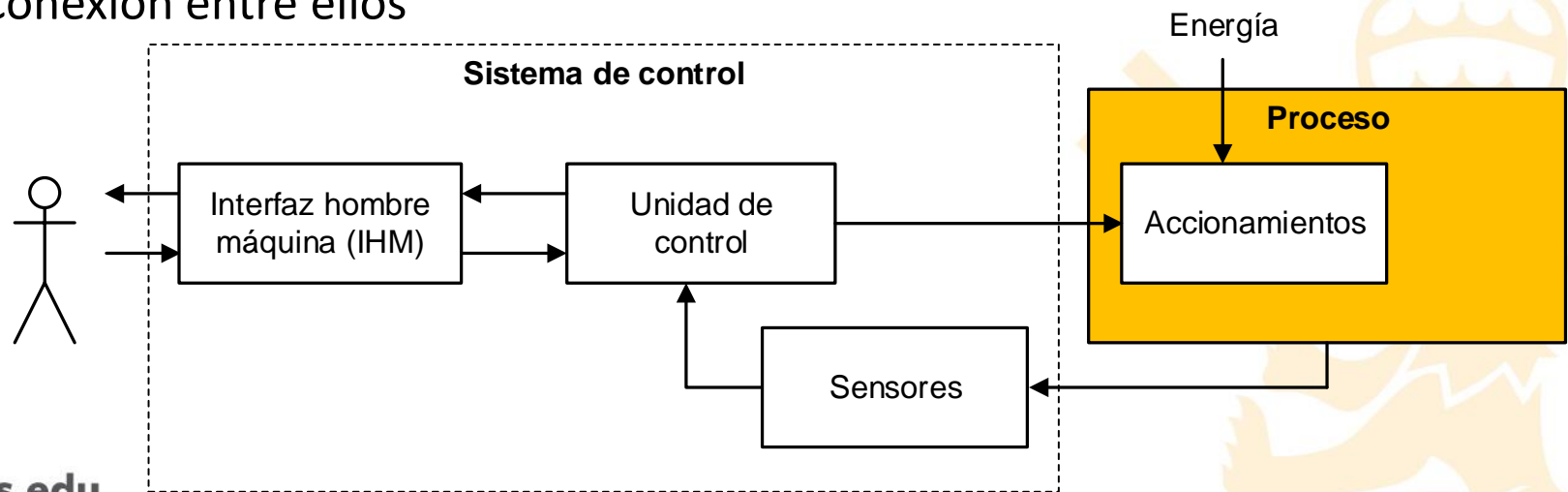
- El algoritmo de control implementa el núcleo de las funciones matemáticas del sistema de control
- El resto de bloques funcionales implementa adecuación de los valores de las variables según las necesidades del algoritmo de control, del operador y del proceso



# ¿Cómo se implementa el algoritmo de control y resto?

- **Cinco problemas a resolver según una organización física típica**

- Unidad de control para implementar el algoritmo de control
- Sensores para capturar el estado del proceso
- Interfaz hombre-máquina para interactuar con el operador (funciones de observación)
- Accionamientos para ejecutar las órdenes
- Conexión entre ellos



# Tecnologías actuales para realizar la implementación

- **Tecnología cableada**

- Tecnología eléctrica
  - Cables, interruptores, finales de carrera, relés, pilotos
- Tecnología electrónica no programable
  - Electrónica analógica
    - Sensores
  - Electrónica de potencia
    - Variadores de velocidad
  - Sistema digital no programable
- Neumática (e hidráulica)

- **Tecnología programada**

- Sistema digital programable
  - Autómata programable
  - Pantallas de visualización
  - Sistema a la medida del problema
- Redes de comunicación

**Un sistema de control es una combinación de múltiples tecnologías**



# Resumen dispositivos según tecnología y uso

	Tecnología cableada			Tecnología programada	
	Eléctrica	Electrónica no programable	Neumática/ Hidráulica (otra asignat)	Sistemas digitales programables	Redes de comunicación
<b>Interfaz hombre-máquina</b>	<i>Pulsadores Conmutadores Pilotos</i>			<i>Pantallas</i>	
<b>Adquisición</b>	<i>Finales de carrera</i>	<i>Sensores simples</i>		<i>Sensores complejos</i>	
<b>Algoritmo de control</b>	<i>Conexión serie y paralelo</i>		<i>Lógica neumática</i>	<i>Autómata programable</i>	
<b>Ejecución</b>	<i>Contactores Motores</i>	<i>Variadores de velocidad</i>	<i>Válvulas, cilindros</i>		
<b>Conexión</b>	<i>Cables</i>		<i>Tubos y mangueras</i>		<i>Redes y buses de comunicación</i>
<b>Alimentación</b>	<i>Protecciones</i>		<i>Compresor</i>		

# Clasificación según tipo de implementación

- **Automatismo cableado**

- Todo se implementa mediante tecnología cableada preferentemente eléctrica
- Típico en automatizaciones sencillas
- En el pasado todo era cableado

- **Automatismo programado**

- El algoritmo de control se implementa mediante tecnología programada
- Resto con:
  - Tecnología cableada
  - Combinación de tecnología cableada y programada

- **Una automatización siempre conlleva una parte cableada**

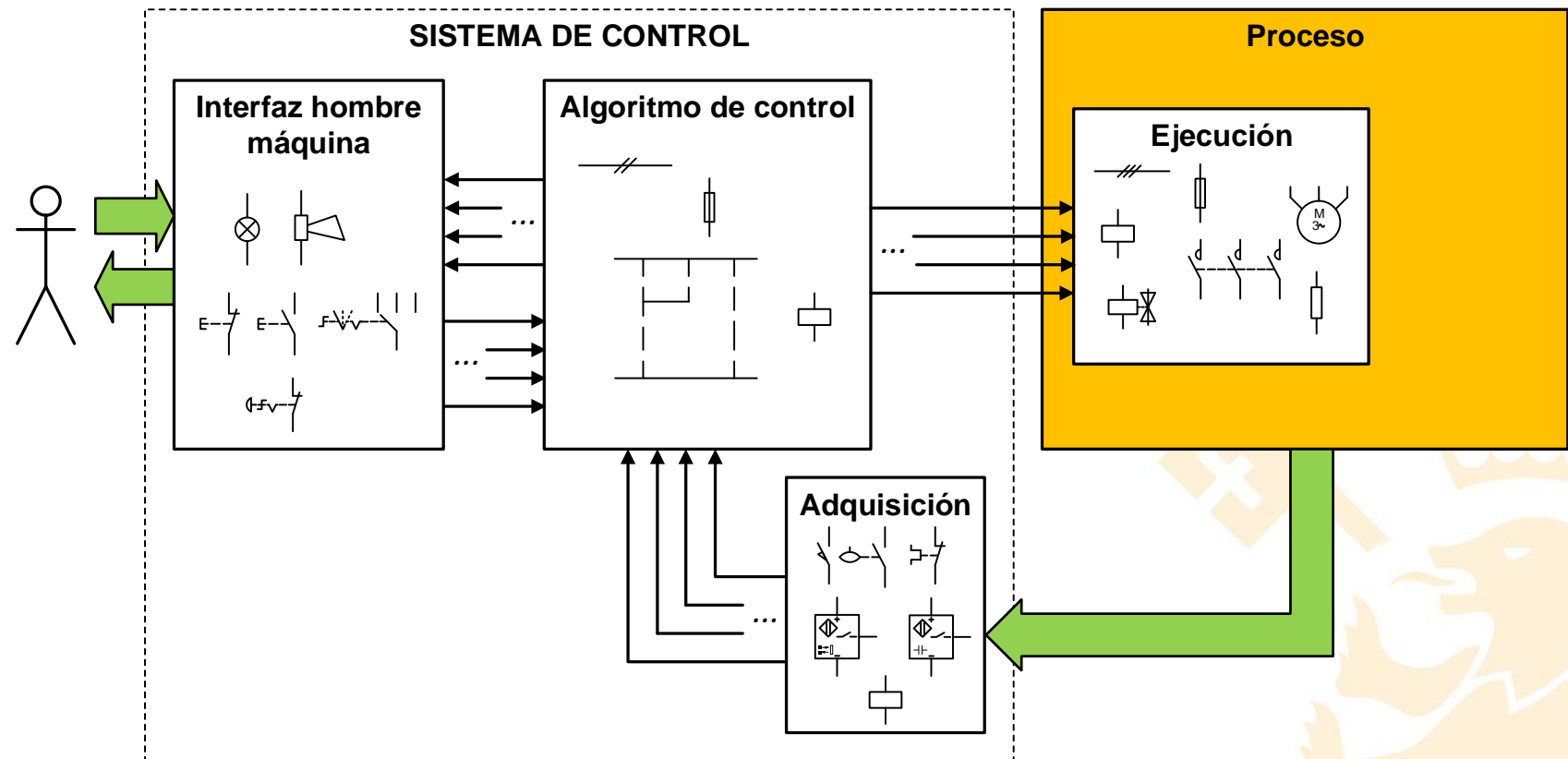
- Mínimo: sistema eléctrico para alimentar a los equipos

**Es fundamental estudiar la tecnología cableada y los automatismos cableados**



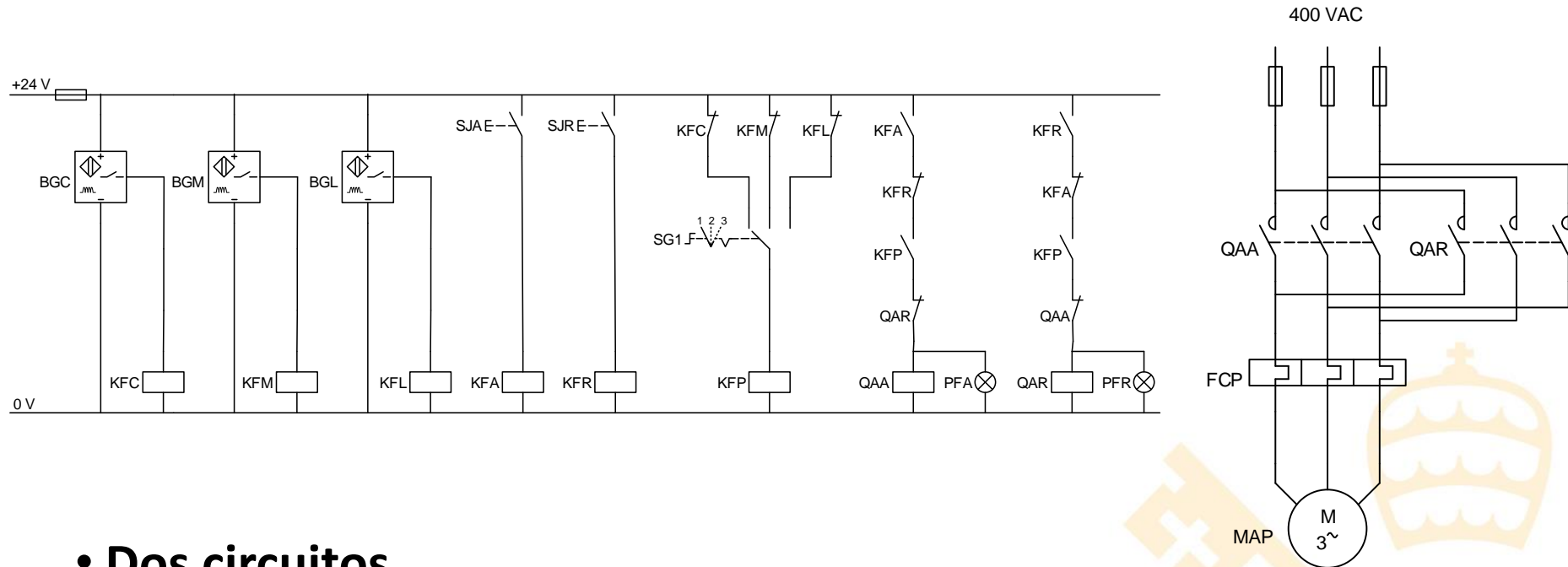
# Automatismo cableado de tipo eléctrico

- Tres tipos de elementos: contactos, cables (conexiones) y consumidores de energía





# Ejemplo de automatismo cableado combinacional



- **Dos circuitos**
  - Circuito de control o de mando
  - Circuito de fuerza o de potencia

# Elementos típicos de un automatismo cableado

Clasificación del elemento	Contactos	Conexiones	Consumidores de energía
<b>Consignas Interfaz hombre-máquina</b>	<i>Pulsador</i> <i>Conmutador</i> <i>Seta de emergencia</i>		
<b>Adquisición</b>	<i>Final de carrera</i> <i>Sensor electrónico</i>		<i>Sensor electrónico</i>
<b>Algoritmo de control</b>	<i>Contactos del relé</i>	<i>Conexión serie</i> <i>Conexión paralelo</i>	<i>Bobina del relé</i>
<b>Ejecución</b>			<i>Relé de potencia</i> <i>Resistencia</i> <i>Motor</i>
<b>Información Interfaz hombre-máquina</b>			<i>Piloto</i> <i>Bocina</i>

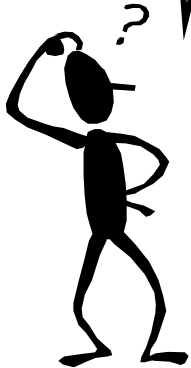
# Diseño e implementación de un automatismo cableado

- Estudiar los requisitos
- Definir las funciones de control, de observación (y de estado): de momento sólo combinacional
- Dibujar los circuitos que implementan las funciones de control y observación
  - Planos normalizados
    - Símbolos normalizados
    - Nombre normalizados
  - Herramientas de CAD eléctrico
  - Asignatura: normalización simplificada
- Diseño de armarios (cuadros eléctricos) donde se alojan los circuitos
  - Dimensionamiento eléctrico
  - Dimensionamiento mecánico
- Fabricación, montaje y pruebas de armarios
- Montaje final de los armarios, conexión y pruebas



# Normalización de los planos según la IEC

¿Hay que estudiarlo?



## Designation

IEC 81346  
Structuring principles  
and  
reference designations

IEC 61175  
Designation of  
signals

IEC 61666  
Identification of  
terminals within a  
system

## Symbols

ISO / IEC 81714  
Design of  
graphical  
symbols

IEC 60617  
Graphical symbols  
for diagrams

ISO 14617  
Graphical symbols  
for diagrams

## Documentation rules

IEC 61355  
Classification and  
designation of  
documents

IEC 62023  
Structuring of  
technical information  
and documentation

IEC 82045-1  
Document  
management

## Preparation of documents

IEC 60848  
Preparation of  
sequential  
function charts

IEC 61082  
Preparation of  
documents used in  
electrotechnology

IEC 62027  
Preparation of  
object lists

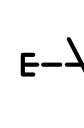
IEC 82079  
Preparation of  
instructions

ISO 5807  
Symbols and  
conventions for  
flowcharts

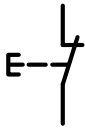
# Símbolos normalizados: IEC 60617

- **Normaliza los símbolos gráficos que aparecen en los dibujos de los circuitos (esquemas)**
  - Ejemplo: pulsadores, sensores, motores
- **Se basa en utilizar símbolos gráficos concretos a los que se añaden símbolos gráficos básicos generales para especializarlos**
  - Concreto
    - Contacto NO
    - Contacto NC
  - General
    - Acción por pulsador
    - Acción por nivel de fluido
- **Más ejemplos de símbolos: [librería para Autocad](#)**

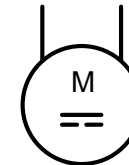
Pulsador con contacto normalmente abierto (NO)



Pulsador con contacto normalmente cerrado (NC)






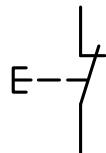



Motor



Piloto



	Acción por pulsador E---	Acción por nivel de fluido 
Contacto NO 	Pulsador con contacto NO 	Sensor de nivel con contacto NO 
Contacto NC 	Pulsador con contacto NC 	Sensor de nivel con contacto NC 

# Nombres normalizados: IEC 81346

- **Todo dispositivo en un esquema eléctrico tiene un identificador (nombre) formado por:**
  - Código normalizado (IEC 81346) que indica el tipo de dispositivo: hasta 3 letras
    - Primera letra: tipo general (clase)
      - S: Dispositivos que detectan una acción humana
    - Segunda letra: subtipo dentro del tipo general (subclase)
      - SJ: La acción se realiza mediante un dedo (ejemplo: Pulsador)
      - SH: La acción se realiza mediante un pie (ejemplo: Pedal)
    - Tercera letra: subtipo dentro del subtipo (no se utiliza en la asignatura)
  - Número para diferenciar dispositivos del mismo tipo
    - SJ1: pulsador 1
    - SJ2: pulsador 2
  - Asignatura: se utilizarán también letras para permitir una mejor identificación
    - SJM: pulsador de marcha
    - SJP: pulsador de paro

# IEC 81346: tabla completa primera letra

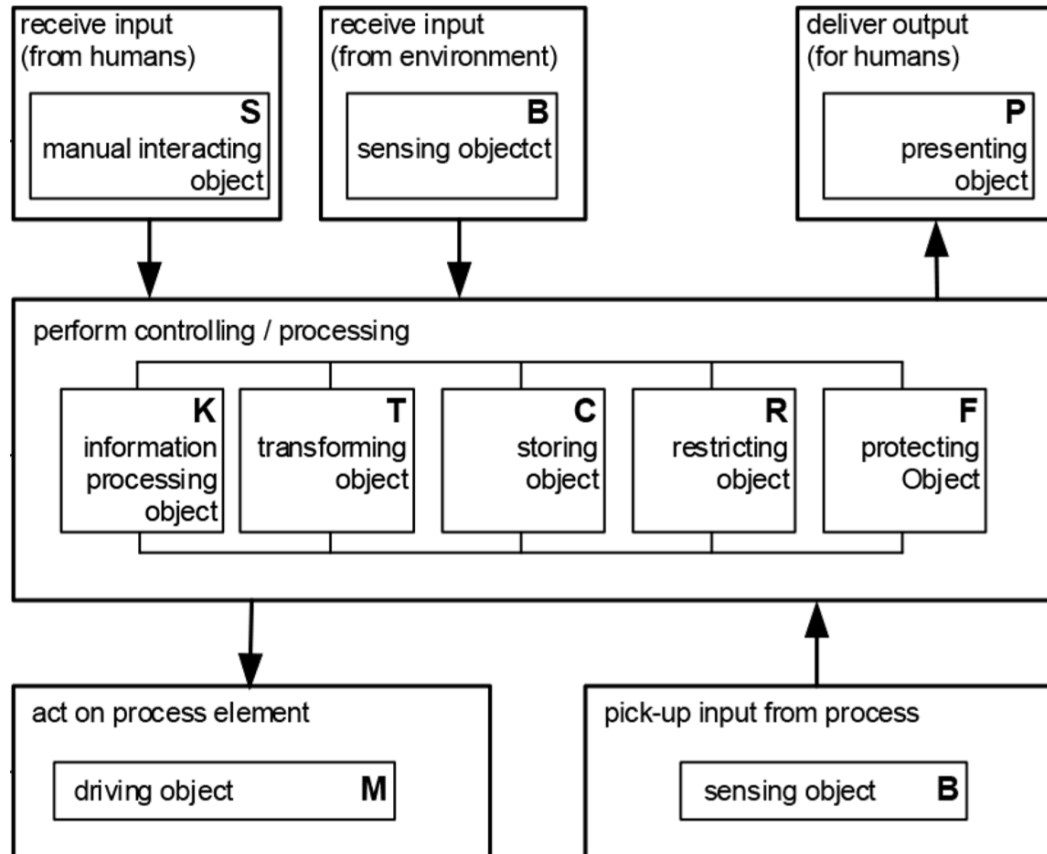
Class code	Class definition	Class name
<b>B</b>	object for picking up information and providing a representation	sensing object
<b>C</b>	object for storing for subsequent retrieval	storing object
<b>E</b>	object for emitting	emitting object
<b>F</b>	object for protecting against the effects of dangerous or undesirable conditions	protecting object
<b>G</b>	object for providing a controllable flow	generating object
<b>H</b>	object for treating matter	matter processing object
<b>K</b>	object for treating input signals and providing an appropriate output	information processing object
<b>M</b>	object for providing mechanical movement or force	driving object
<b>N</b>	object for enclosing partly or fully another object	covering object
<b>P</b>	object for providing perceptible information	presenting object
<b>Q</b>	object for controlling access or flow	controlling object
<b>R</b>	object for restricting or stabilising	restricting object
<b>S</b>	object for detecting a human action and providing an appropriate response	human interaction object
<b>T</b>	object for transforming	transforming object
<b>U</b>	object for localising of other objects	holding object
<b>W</b>	object for leading from one place to another	guiding object
<b>X</b>	object for interfacing an object	interfacing object

The letters A, I and O shall not be used as a class code.

The letters D, J, L, V, Y and Z are reserved for future standardization.



# IEC 81346: Relación entre parte de las letras



Nuestro esquema de sistema automatizado es muy similar





# IEC 81346: Ejemplo de 2 letras

Class code		Class definition	Class name (preferred term)	Examples of terms	Criteria for definition of subclasses
1	2				
B		<i>object</i> for picking up information and providing a representation	sensing object		Kind of quantity
	BA	<i>sensing object</i> for electric potential	electric potential sensing object	coupling capacitor, measuring voltage relay, measuring voltage transformer, voltage relay, voltage transformer	Kind of output signal
	BB	<i>sensing object</i> for resistivity or conductivity	resistivity sensing object	electric resistivity detector, electric resistivity sensor, thermal resistivity detector, thermal resistivity detector	Kind of flow and output signal
	BC	<i>sensing object</i> for electric current	electric current sensing object	electronic overload relay, measuring current relay, measuring current transformer, overload relay	Kind of output signal
	BD	<i>sensing object</i> for density	density sensing object	aerometer, density sensor, density switch, density transformer, hydrometer	Kind of output signal
	BE	<i>sensing object</i> for field	field sensing object	electric field detector, electric field sensor, magnetic field detector, magnetic field sensor, reed relay, reed switch	Kind of output signal
	BF	<i>sensing object</i> for flow	flow sensing object	flow sensor, flow switch, flow transmitter, gas flow sensor, gas flow switch, liquid flow sensor, matter flow sensor, matter flow switch, water flow sensor	Kind of output signal
	BG	<i>sensing object</i> of spatial dimension and/or position	physical dimension sensing object	2D-scanner, 3D-scanner, alignment sensor, alignment threshold detector, angle switch, angle transmitter, coordinates scanner, distance switch, distance transmitter, end stop, laser distance sensing switch, laser distance sensor, laser scanner, movement detector, movement sensor (PIR), object scanner, position sensor, position switch, position transmitter, presence indicator, presence locator, radar, rotary encode, visibility sensor, wind direction indicator, wind direction sensor	Kind being sensed and kind of output signal
	BH	<i>sensing object</i> for energy	energy sensing object	condensate sensor, electric energy meter, energy cooling meter, energy meter, energy sensor, flow energy meter, gas energy meter, kWh sensor, thermal energy meter	Kind of energy
	BJ	<i>sensing object</i> for power	power sensing object	kW meter, power limit switch, power meter	Kind of output signal
	BK	<i>sensing object</i> for time	time sensing object	Clock, time counter, time information device, time sensor, timer switch	Kind of output signal
	BL	<i>sensing object</i> for level	level sensing object	level sensor, level switch, level transmitter, liquid level sensor, liquid level switch	Kind of output signal

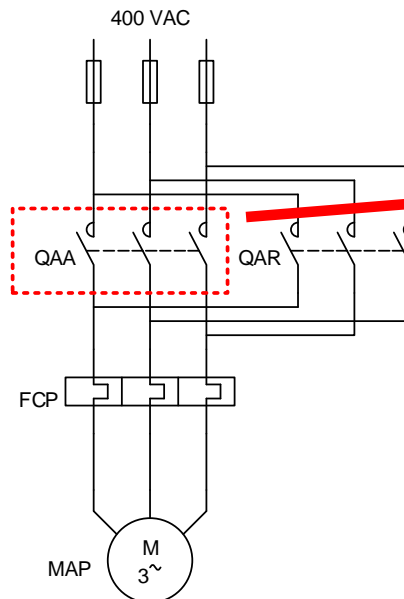
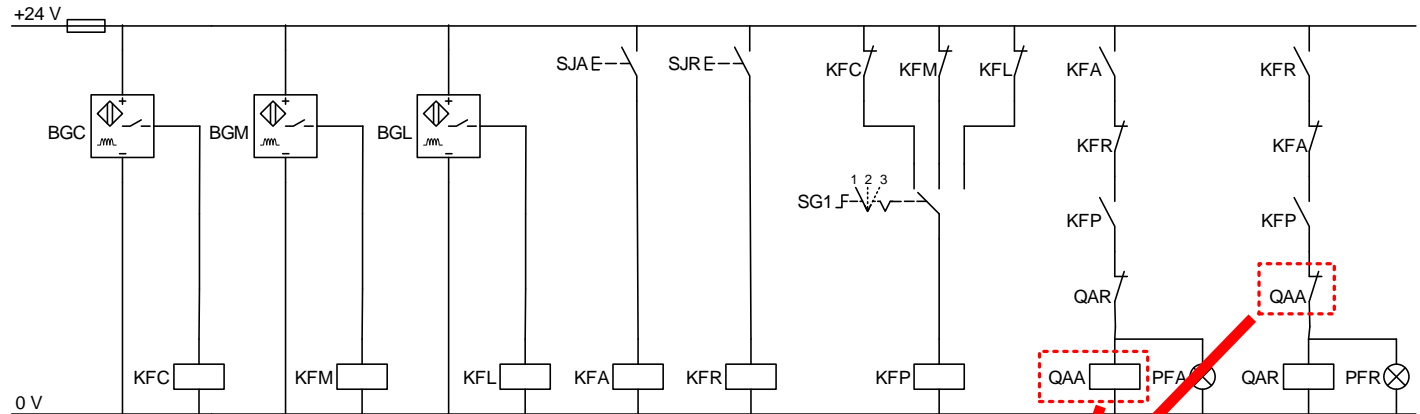
# IEC 81346: Ejemplo de 3 letras

Class code			Class definition	Class name (preferred term)	Examples of terms	Criteria for definition of subclasses
1	2	3				
B			<i>object for picking up information and providing a representation</i>	sensing object		Kind of quantity
	BA		<i>sensing object for electric potential</i>	electric potential sensing object		Kind of output signal
		BAA	<i>electric potential sensing object, with scalar output</i>	voltage transformer	coupling capacitor, measuring voltage transformer	
		BAB	<i>electric potential sensing object, with Boolean output</i>	voltage relay	measuring voltage relay	
	BB		<i>sensing object for resistivity or conductivity</i>	resistivity sensing object		Kind of flow and output signal
		BBA	<i>resistivity sensing object for electric current flow, with scalar output</i>	electric resistivity sensor		
		BBB	<i>resistivity sensing object for electric current flow, with Boolean output</i>	electric resistivity detector		
		BBC	<i>resistivity sensing object for thermal flow, with scalar output</i>	thermal resistivity sensor		
		BBD	<i>resistivity sensing object for thermal flow, with Boolean output</i>	thermal resistivity detector		
	BC		<i>sensing object for electric current</i>	electric current sensing object		Kind of output signal
		BCA	<i>electric current sensing object, with scalar output</i>	current transformer	measuring current transformer	
		BCB	<i>electric current sensing object, with Boolean output</i>	current relay	electronic overload relay, measuring current relay, overload relay	
	BD		<i>sensing object for density</i>	density sensing object		Kind of output signal
		BDA	<i>density sensing object, with scalar output</i>	density transmitter	aerometer, density sensor, hydrometer	
		BDB	<i>density sensing object, with Boolean output</i>	density switch	density sensor	
	BE		<i>sensing object for field</i>	field sensing object		Kind of output signal
		BEA	<i>field sensing object for electric field, with scalar output</i>	electric field sensor		
		BEB	<i>field sensing object for electric field, with Boolean output</i>	electric field detector		
		BEC	<i>field sensing object for magnetic field, with scalar output</i>	magnetic field sensor		

# IEC 81346: códigos más usados en la asignatura

Código	Función de la subclase	Ejemplos
<b>BG</b>	Medidas relacionadas con la posición, longitud o deformación.	Final de carrera, sensor de proximidad, sensores de posición
<b>BL</b>	Medida del nivel	Boya, sonar
<b>BP</b>	Medida de la presión	Sensor de presión
<b>BR</b>	Medida de la radiación	Fotocélula
<b>BT</b>	Medida de la temperatura	Sensor de temperatura
<b>FC</b>	Protección de sobrecorriente	Fusible, protección térmica motor
<b>KE</b>	Procesado con CPU de señales eléctricas	CPU, PLC, ordenador
<b>KF</b>	Procesado sin CPU de señales eléctricas	Relé
<b>MA</b>	Movido por una fuerza electromagnética	Motor eléctrico
<b>PF</b>	Presentación de estados discretos	Piloto (bombilla), semáforo
<b>PH</b>	Presentación de información mediante dibujos y textos	Pantalla, panel, impresora
<b>PJ</b>	Presentación de información mediante sonidos	Bocina, altavoz
<b>QA</b>	Control de circuitos eléctricos	Interruptor de potencia, contactor de potencia
<b>QB</b>	Separación de circuitos eléctricos	Seccionador
<b>QC</b>	Puesta a tierra de un circuito eléctrico	Seccionador de puesta a tierra
<b>SG</b>	Detectar una acción realizada por una mano	Conmutador, potenciómetro, pulsador de emergencia
<b>SJ</b>	Detectar una acción realizada por un dedo	Pulsador, interruptor

# Mismo nombre: diferentes partes del mismo dispositivo



# Diferencias IEC 81346 e IEC 61346

- **IEC 81346 deroga a IEC 61346**
  - IEC 61346 es todavía muy utilizada en la industria

EN 81346-2	EN 61346-2	Descripción
KF	KA	Relé
QA	KM	Contactor
P	H	Presentación de información
MA	M	Motor
BG	S	Finales de carrera

- En algunos ejemplos de la asignatura se sigue utilizando la IEC 61346

# Reglas y recomendaciones para dibujar un plano: IEC 61082

## • Ejemplos de recomendación

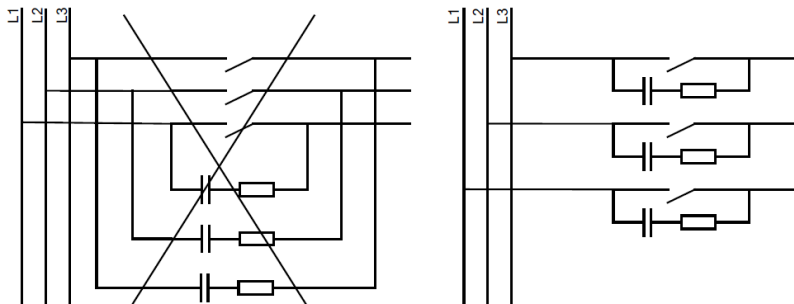
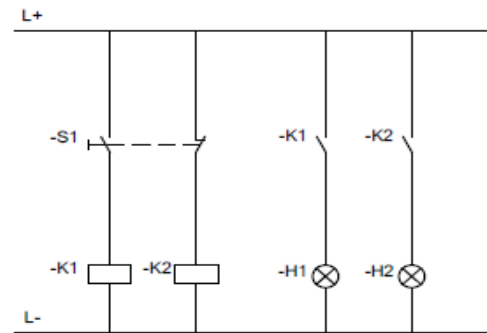
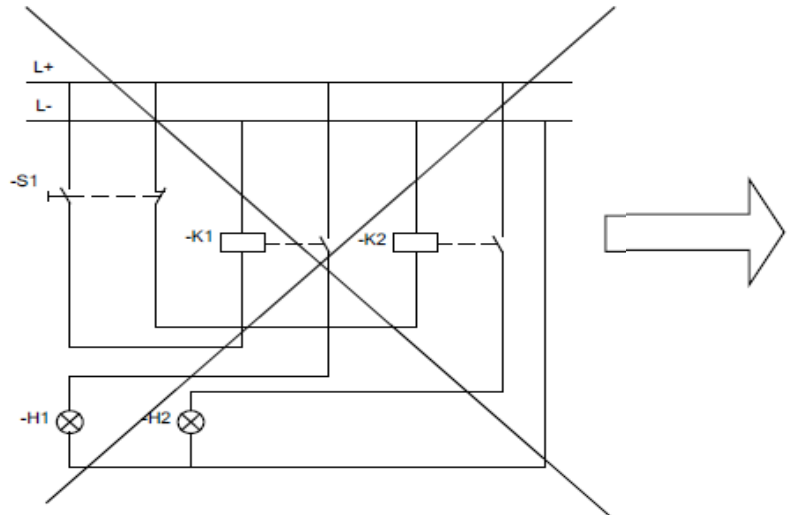


Figure 64 – Grouping of symbols for functionally related components

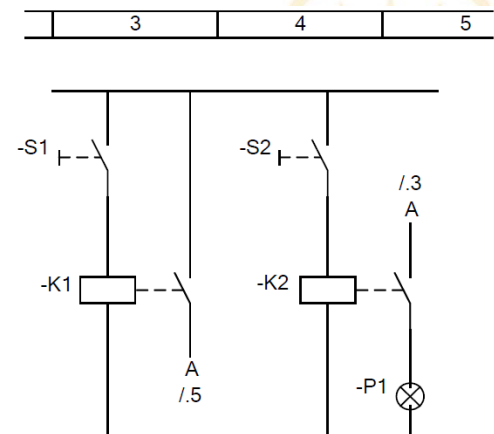
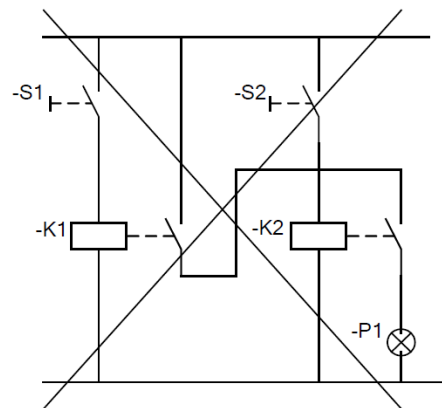


Figure 35 – Example for avoiding bends and cross-overs

# Normas de la asignatura para dibujar

- **Dos esquemas separados (en casos sencillos puede ser uno sólo)**
  - Mando o control
  - Fuerza o potencia
- **Mando o control**
  - Dos líneas horizontales para indicar alimentación
    - Línea superior: fase o positivo
    - Línea inferior: neutro (si no es entre dos fases) o negativo/0 V DC
  - Elementos consumidores de energía situados en la parte baja
    - Tensiones normalizadas: 24 V DC (típica en clase), 110 V DC, 230 V CA
  - Con protección eléctrica mínima: fusible
    - Dimensionamiento fuera de la asignatura
- **Fuerza o potencia**
  - Organización vertical
  - Con protección eléctrica mínima: fusible y protección térmica motores
- **Denominación de dispositivos**
  - Código de 1 o 2 letras IEC81346 más número o letras
- **Numeración de terminales**
  - Sólo en los esquemas que van a ser cableados en el laboratorio



# Ejemplo sencillo: Detector de al menos un pulsador pulsado

- **Requisitos:** Detección si al menos uno de tres pulsadores está pulsado con señalización por piloto
- **Variables**

Fuente, receptor, ...	Tipo variable	Variable	0	1
Pulsador SJ1	Consigna	SJ1	"No pulsado"	"Pulsado"
Pulsador SJ2	Consigna	SJ2	"No pulsado"	"Pulsado"
Pulsador SJ3	Consigna	SJ3	"No pulsado"	"Pulsado"
Piloto	Información	PF	"No luce"	"Luce"

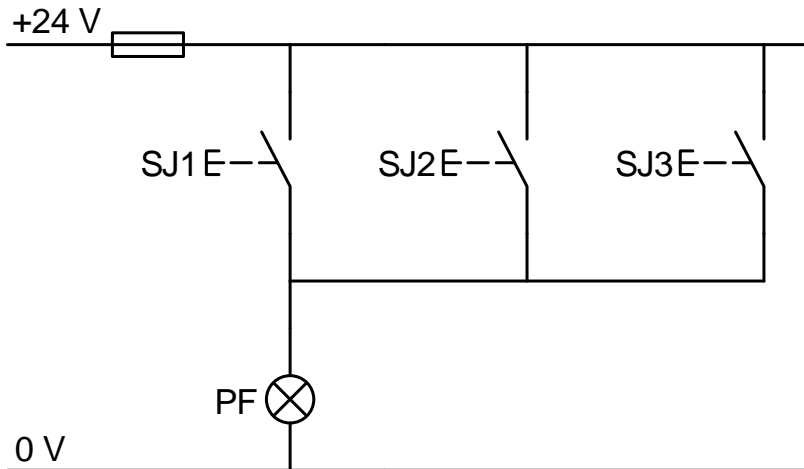
- **Función de observación**
  - $PF = SJ1 + SJ2 + SJ3$



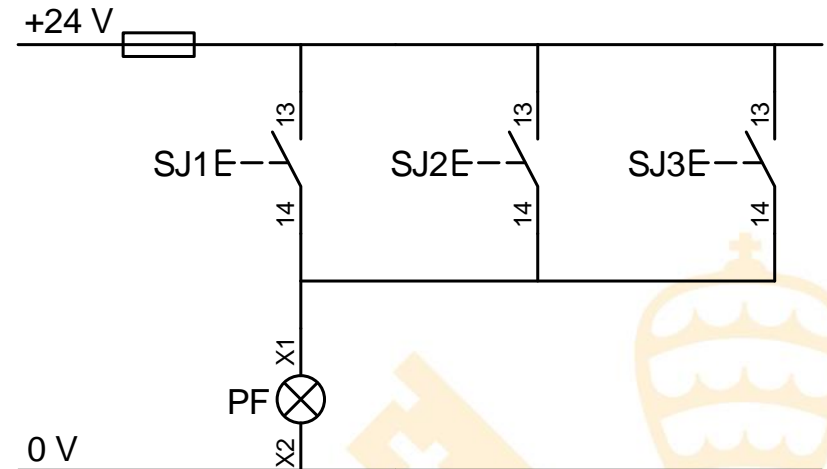
# Esquema del detector de al menos uno pulsado

- Caso sencillo: un solo esquema, no hay potencia

Esquema sin numeración



Esquema con numeración



- Si fuese un plano completo aparecería el cajetín y la guía para buscar elementos dentro del plano

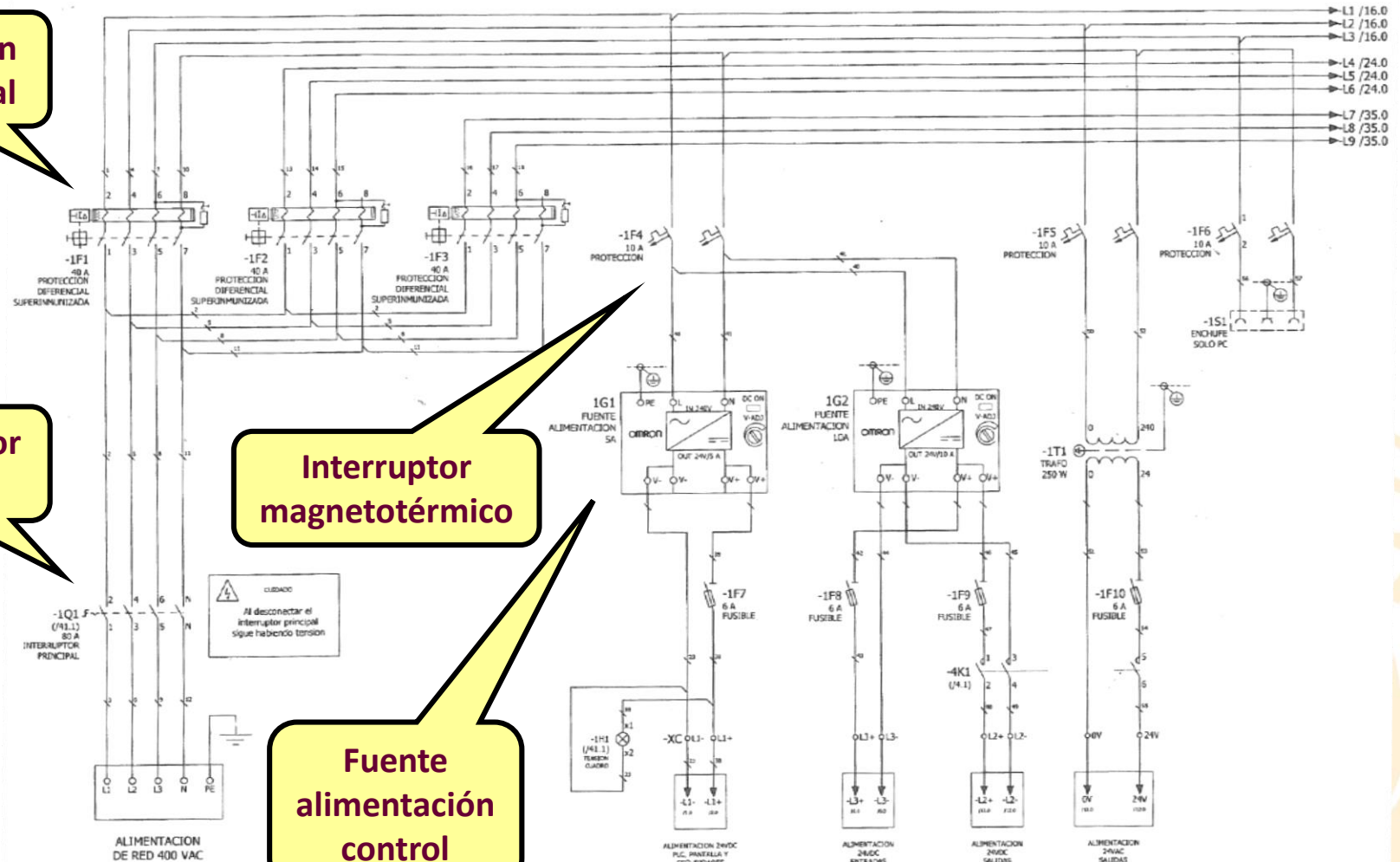
# Ejemplo de protección completa: alimentación general

Protección diferencial

Interruptor general

Interruptor magnetotérmico

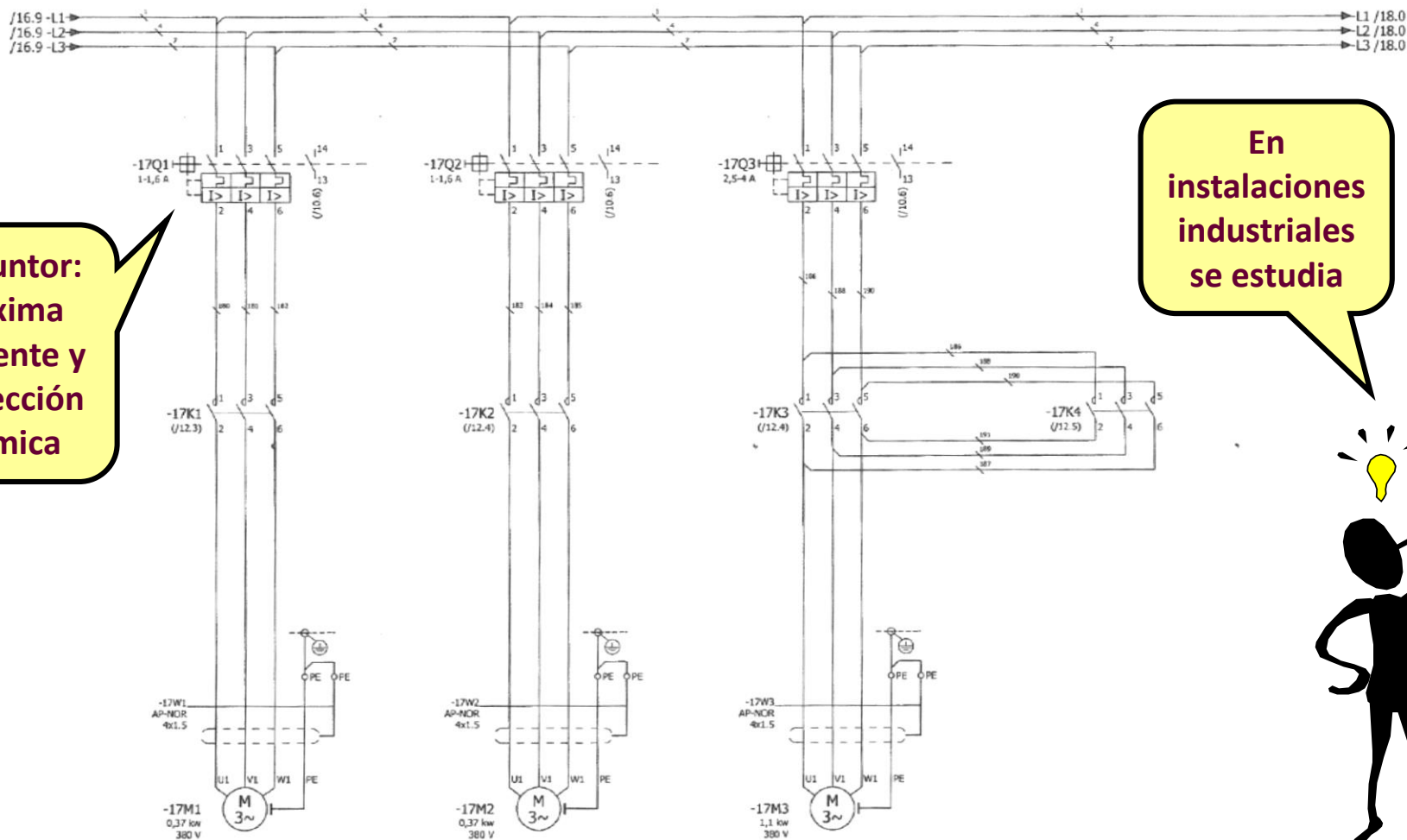
Fuente alimentación control



# Ejemplo de protección completa: motores

**Disyuntor:**  
 máxima  
 corriente y  
 protección  
 térmica

En  
 instalaciones  
 industriales  
 se estudia



# Elementos tecnología cableada: contacto

- **Elemento diseñado para interrumpir o establecer el paso de la corriente eléctrica. Tiene dos o más elementos conductores que al ser accionados externamente entran en contacto o se separan, permitiendo el paso de la corriente o interrumpiéndolo**

- Su capacidad de corte es pequeña (si no es contacto de potencia)

- **Tiene dos estados:**

- Reposo. No hay acción sobre el contacto.
  - Accionado. Hay una acción sobre el contacto. Origen acción:
    - Manual (operador)
    - Fenómeno físico: sobrepresión, temperatura baja, nivel de líquido, empuje mecánico, etc.

- **Forma parte de un dispositivo encargado de accionarlo**

- Pulsador, relé, conmutador, sensor

- **Tipos de contactos**

- **Contacto normalmente abierto (NO)**
    - Contacto que en el estado de reposo no permite el paso de la corriente. Al accionarlo permite el paso de la corriente.
  - **Contacto normalmente cerrado (NC)**
    - Contacto que en el estado de reposo permite el paso de la corriente. Al accionarlo no permite el paso de la corriente.
  - **Contacto conmutado**
    - Conmuta el paso de la corriente entre dos circuitos.

Contacto  
NO



Contacto  
NC



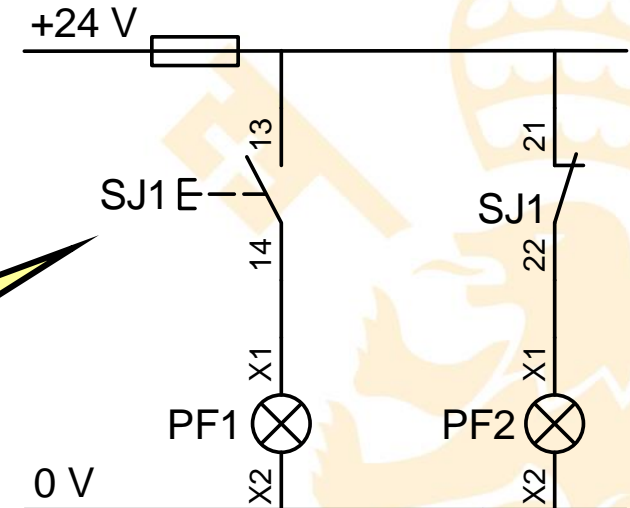
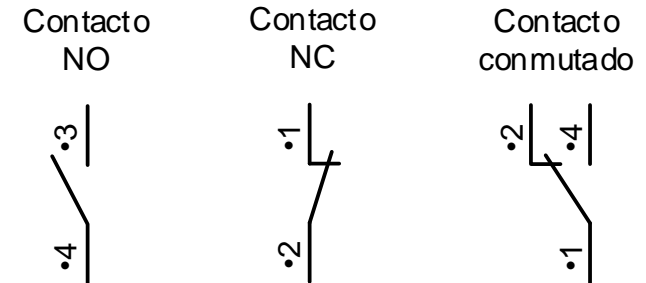
Contacto  
conmutado



# Numeración de los contactos (IEC 60947-1)

## • 2 cifras

- Menos significativa: función del contacto
  - Contacto NO: 3-4
  - Contacto NC: 1-2
  - Contacto conmutado: 1-2,4
  - Otras funciones:
    - Retardo: 5-6, 7-8
- Más significativa: número de contacto dentro del dispositivo a que pertenece
  - Ejemplo: pulsador que acciona 2 pilotos (PF1=J1, PF2=J1')



**Sólo uno de los contactos indica cómo se acciona**

# Elementos tecnología cableada: pulsador

- Dispositivo provisto de uno o varios contactos que, mediante la fuerza ejercida por el dedo, permite cambiar simultáneamente el estado de estos contactos de reposo a accionado. Cuando la fuerza cesa los contactos vuelven al estado de reposo gracias a un muelle

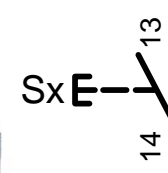
- Uso: dar orden de puesta en marcha, orden de parada, maniobrar desde varios puntos.
- El pulsador representa una variable lógica cuyo valor cambia el dedo: 0 - no pulsado, 1 - pulsado

## • Tipos de pulsadores

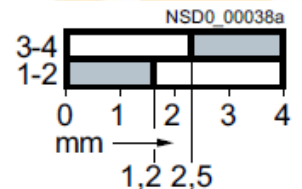
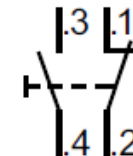
- Integrado
- Modular
  - Cabeza
  - Contactos
    - Hasta 3 contactos en paralelo
    - Apilables en 2 filas
    - Sin solape o con solape
  - Un contacto puede ser un piloto
    - Ejemplo: 4 contactos + piloto



Pulsador con contacto NO



Pulsador con contacto NC



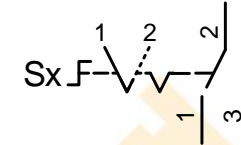


# Elementos tecnología cableada: conmutador

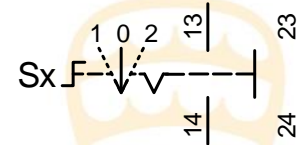
- **Dispositivo provisto de dos o más contactos que, mediante la fuerza ejercida por la mano, permite seleccionar qué contacto o contactos están accionados. Cuando la fuerza cesa cada contacto queda en el estado adquirido en la selección**
  - El caso de un solo contacto es equivalente a un interruptor
  - Uso: seleccionar entre diferentes modos de funcionamiento
    - Ejemplo: MANUAL, AUTOMÁTICO, SEMIAUTOMÁTICO
- **Mientras que en el pulsador todos los contactos están en el mismo estado (reposo o accionados), el conmutador permite estados diferentes entre contactos (unos en reposo, otros accionados)**
  - Cada contacto es una variable lógica
    - 0 -posición no seleccionada, 1 - posición seleccionada
  - No son totalmente independientes
- **Amplio abanico de tipos de conmutadores**
  - Integrados
  - Modulares: igual montaje que en el pulsador



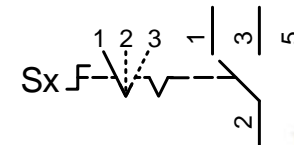
Conmutador de 2 contactos conmutados



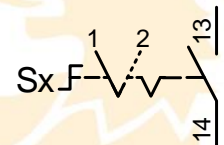
Conmutador de 2 contactos independientes



Conmutador de 3 contactos conmutados

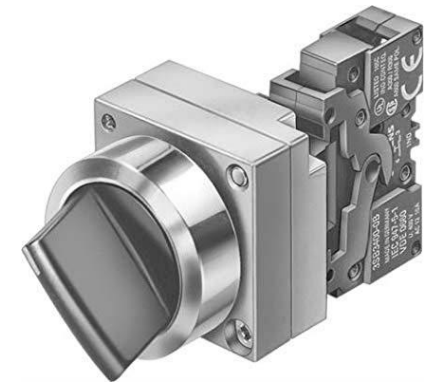


Conmutador de 1 contacto (interruptor)



# Ejemplos de conmutadores

- **Múltiples contactos**
  - Ejemplo: 8 posiciones (ABB)

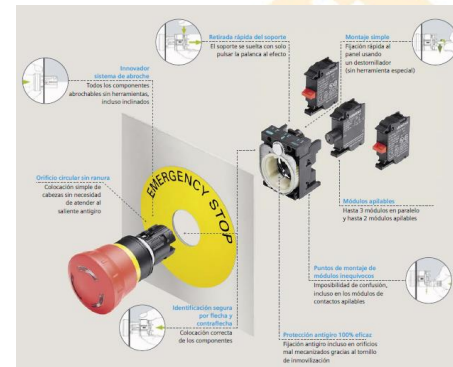
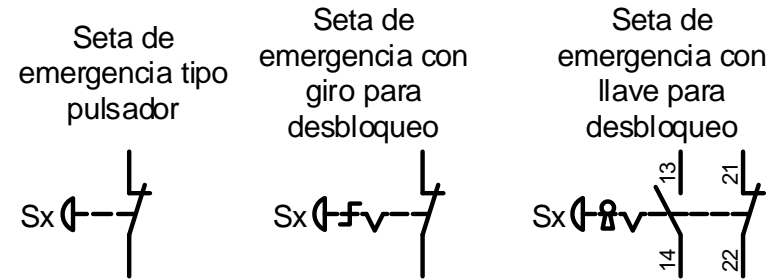


- **Con medidas de bloqueo por candado**



# Elementos tecnología cableada: seta de emergencia

- **Dispositivo provisto de uno o varios contactos que, mediante la fuerza ejercida por la mano (pie), elimina o mitiga las situaciones de riesgo para el operador, el entorno o el proceso**
- **Hay dos tipos:**
  - Tipo pulsador
    - Al pulsar: se elimina la situación de riesgo
    - Al dejar de pulsar: se mantiene la situación de emergencia hasta que no se elimine por otros medios
  - Tipo conmutador
    - Al pulsar: se elimina la situación de riesgo.
      - Queda pulsada aunque no se siga aplicando la mano (pie)
    - Rearme: mediante un giro con la mano se desactiva la situación de emergencia si no hay otros sistemas que la mantenga
      - Puede ser necesario el uso de una llave para evitar sabotajes
- **La seta de emergencia tiene doble tratamiento**
  - Dentro del algoritmo de control
    - El sistema debe evolucionar a modo emergencia
  - Fuera del algoritmo de control: seguridad



# Color de los pulsadores y los pilotos (IEC 60204-1)

- **Pulsadores**

- VERDE identifica normalidad: función de arranque, puesta en marcha, inicio de ciclo
- NEGRO: función de paro, cualquier función si tiene rótulo identificativo (incluso arranque)
  - BLANCO y GRIS tienen función similar a NEGRO
- ROJO sobre fondo AMARILLO: identifica parada de emergencia
  - Se permite ROJO sin fondo amarillo para función de paro si no está cerca de parada de emergencia

- **Pilotos**

- ROJO: peligro o alarma
- AMARILLO: anomalía
- VERDE: funcionamiento normal
- AZUL: requerir acción del operador

- **Significado piloto encendido/apagado**

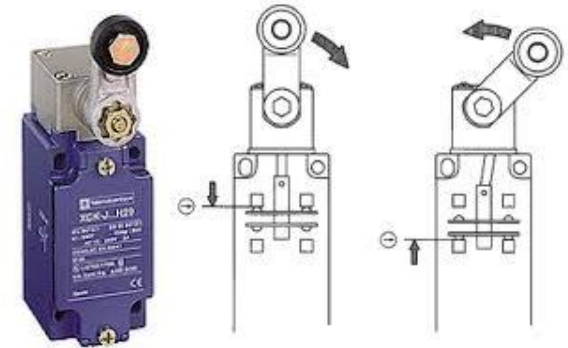
- Variable lógica
  - 0 - no luce – no se da la situación que representa
  - 1 – luce – se da la situación que representa

# Elementos tecnología cableada: sensores proximidad mecánicos

- **Final de carrera (electromecánico)**

- Equivalente a un pulsador donde la acción de cambio de estado de los contactos es provocada por un elemento mecánico en movimiento.

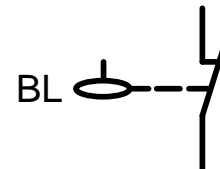
Contacto accionado por sensor de posición (final de carrera)



- **Sensor de nivel (electromecánico)**

- La acción es provocada por un cambio de nivel

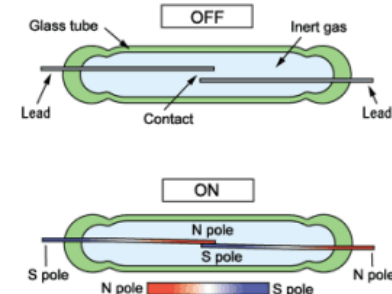
Contacto accionado por sensor de nivel



- **Interruptores magnéticos (reed)**

- La acción es provocada por un imán

Sensor reed



# Elementos tecnología cableada: sensores proximidad electrónicos

## • Capacitivos

- Acción provocada al acercar un objeto metálico o no metálico
- Principio: cambio en el campo electrostático

## • Inductivos

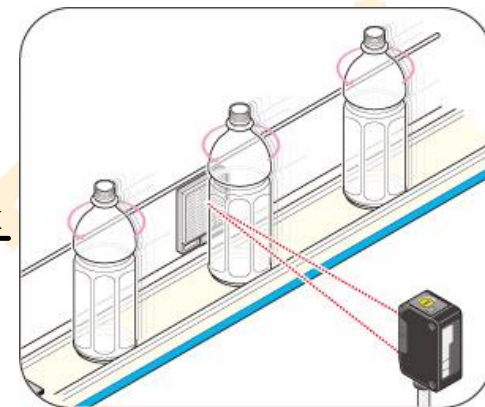
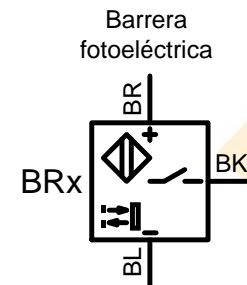
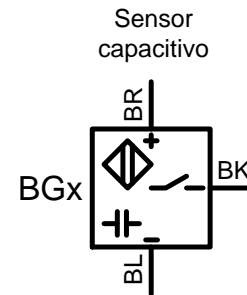
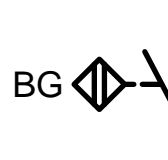
- Acción provocada al acercar un objeto metálico
- Principio: cambio en el campo electromagnético

## • Fotoeléctricos (Barreras fotoeléctricas)

- Acción provocada al interrumpir un haz de luz

## • Símbolo general de sensor de proximidad

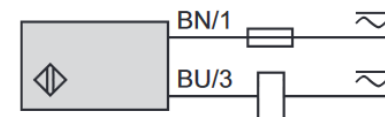
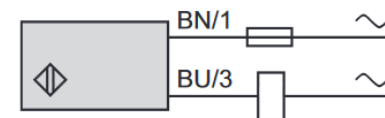
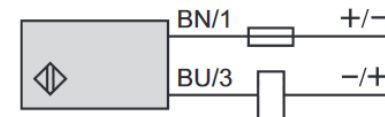
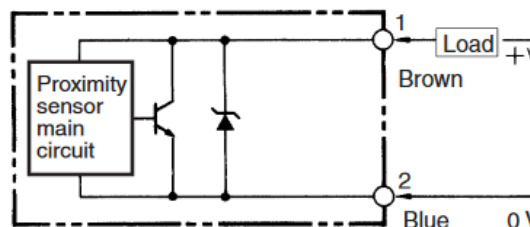
Contacto accionado por sensor de proximidad



# Conexión de sensores electrónicos

## • Sensores de 2 hilos

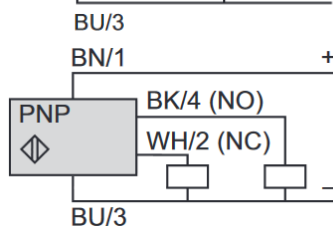
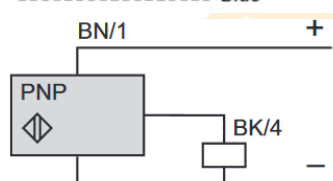
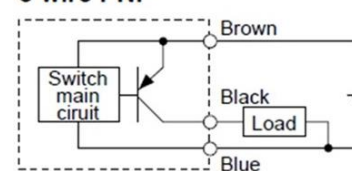
- Siempre circula una corriente necesaria para la electrónica interna
- Pueden ser polarizados
- Se pueden conectar en serie y en paralelo con limitaciones
  - Uso de relés para salvar el problema



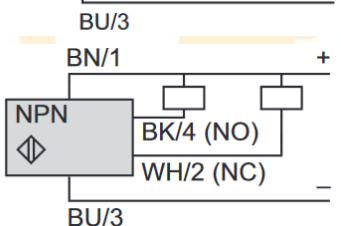
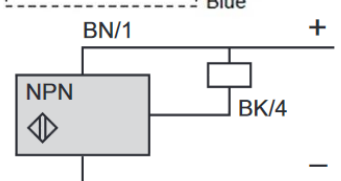
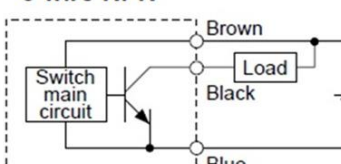
## • Sensores de 3 hilos

- 2 hilos corresponden a alimentación
- Tercer hilo indica detección o no detección
  - Conexión PNP: Fuente de intensidad
    - Conexión típica en Europa
  - Conexión NPN: Sumidero de intensidad
    - Conexión típica de Asia
- Se pueden conectar en serie y en paralelo con limitaciones
  - Uso de relés para salvar el problema
- Cuatro hilos: contacto conmutado

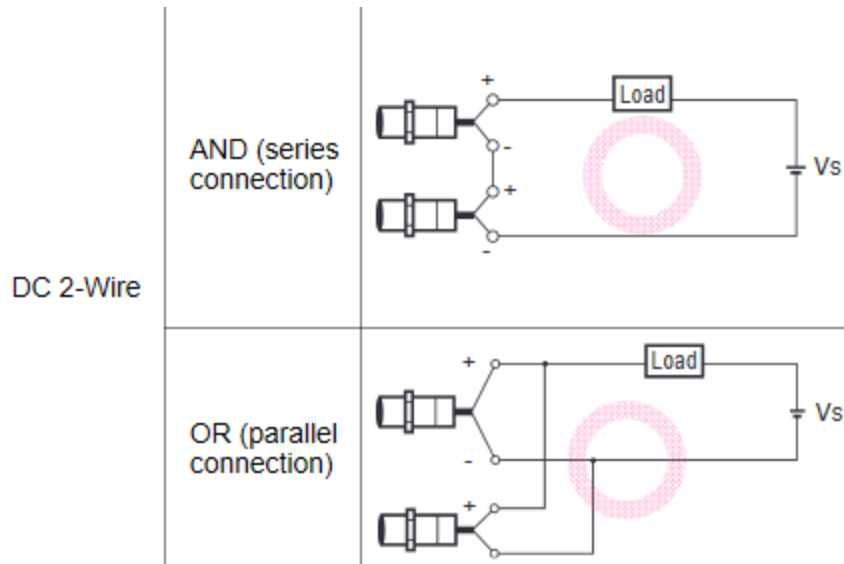
3 wire PNP



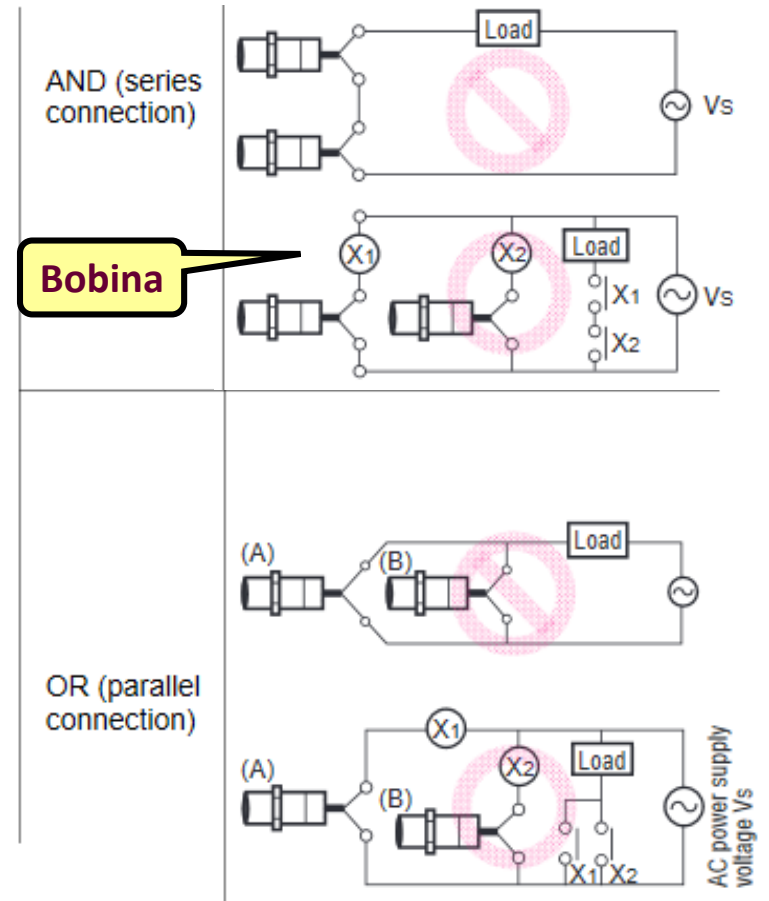
3 wire NPN



# Recomendaciones de conexión para algunos sensores (OMRON)



AC 2-wire





# Elementos tecnología cableada:

## Relé (electromagnético)

- **Dispositivo provisto de una bobina y de uno o varios contactos que se accionan mediante el campo electromagnético generado cuando se alimenta adecuadamente dicha bobina. Cuando cesa la alimentación los contactos vuelven a su estado de reposo gracias a un muelle.**

- Ejemplo de relé: 2 contactos NO y 2 contactos NC
- Bornas de un relé
  - 2 bornas para la bobina
  - 2 x número de contactos

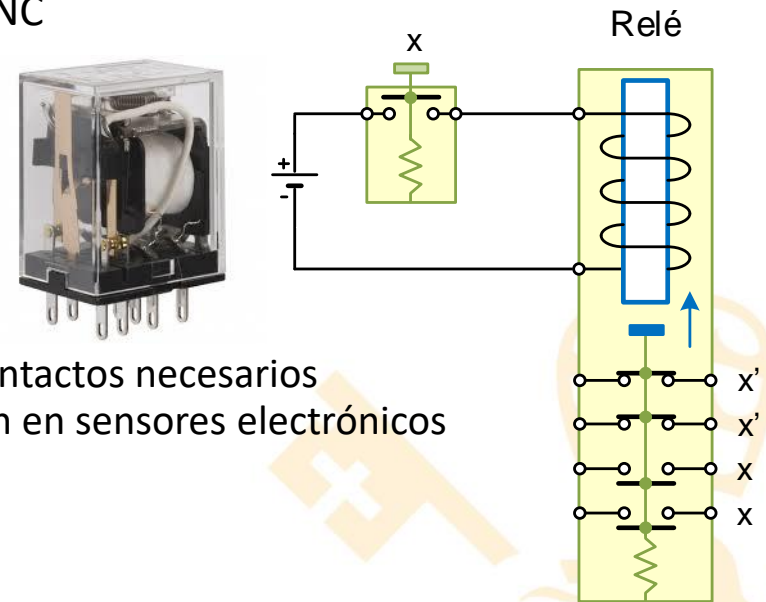
### • Uso: repetidor lógico

- Repite una variable lógica
  - Ejemplo: x se repite dos veces como x y x'
  - Muy útil cuando un dispositivo no tiene los contactos necesarios
  - Resolver el problema de contactos con tensión en sensores electrónicos
- Se denomina relé o relé de automatismo
- Código IEC 81346-2: KF (IEC 61346-2: KA)

### • Uso: aislamiento galvánico

- Tanto bobina como contactos utilizan sistemas de alimentación independientes

### • Uso: amplificador de potencia



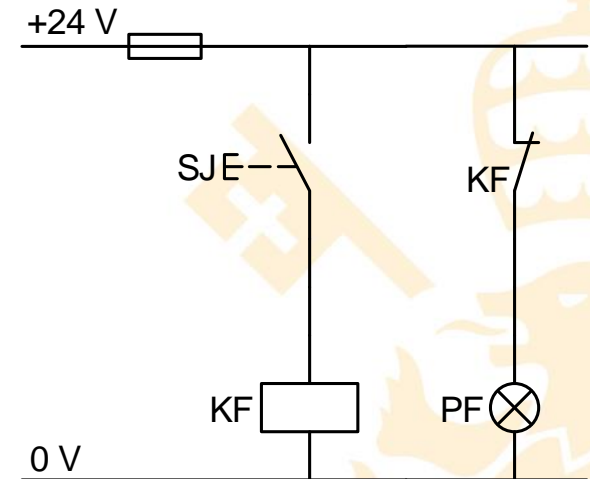
# Ejemplo con relé: detección de pulsador no pulsado

- **Requisitos:** Piloto que sólo se enciende cuando el pulsador no está pulsado. El pulsador sólo tienen un contacto NO.

Fuente, receptor, ...	Tipo variable	Variable	0	1
Pulsador SJ	Consigna	SJ	"No pulsado"	"Pulsado"
Piloto	Información	PF	"No luce"	"Luce"

- **Función de observación**

- $PF = SJ'$ 
  - No se puede implementar directamente
  - Se introduce el relé
    - $KF = SJ$
    - $PF = KF'$





# Ejemplo con relé: detección de sólo un pulsador pulsado

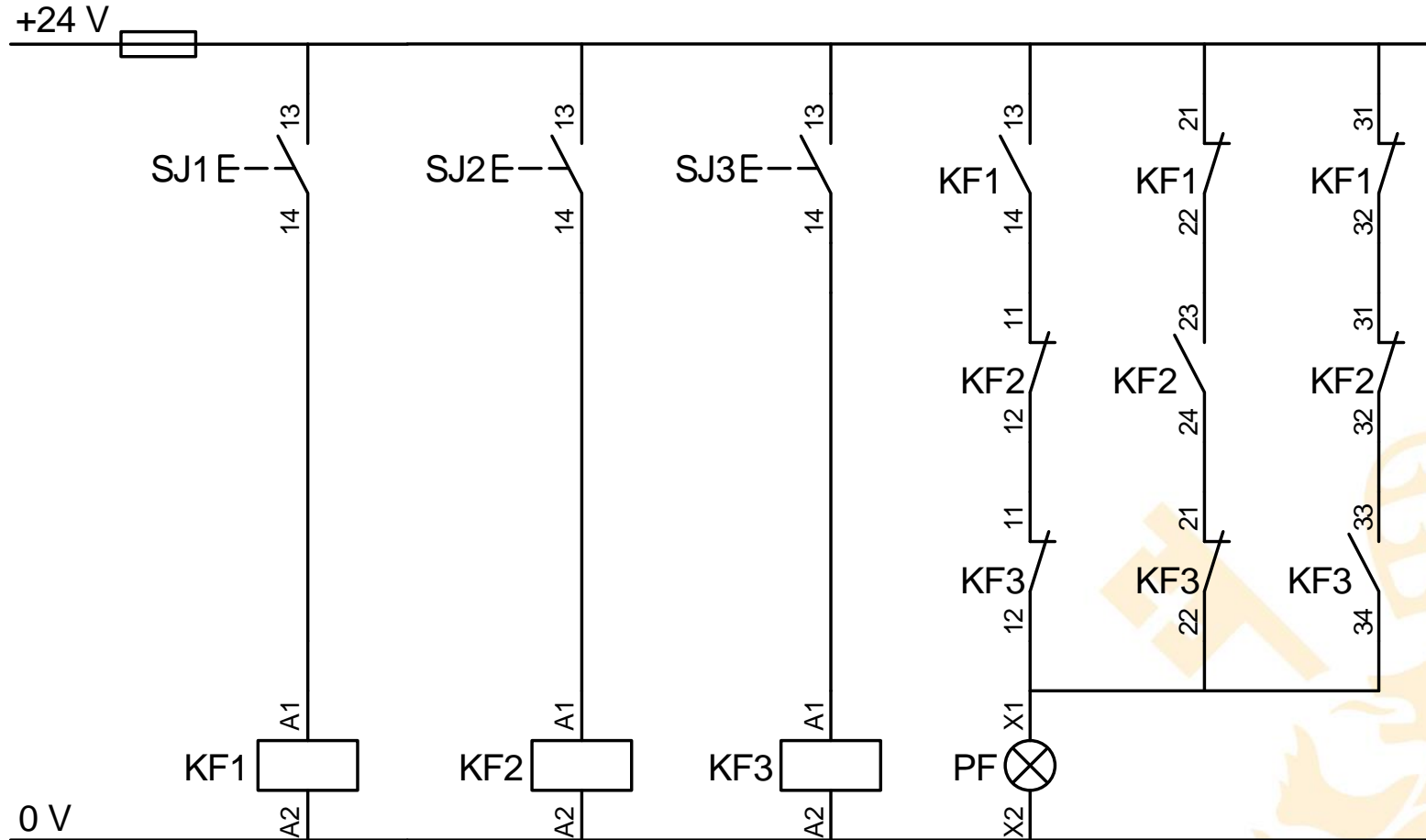
- **Requisitos:** Piloto que se enciende cuando uno solo de los tres pulsadores está pulsado. Los pulsadores sólo tienen un contacto NO

Fuente, receptor, ...	Tipo variable	Variable	0	1
Pulsador SJ1	Consigna	SJ1	"No pulsado"	"Pulsado"
Pulsador SJ2	Consigna	SJ2	"No pulsado"	"Pulsado"
Pulsador SJ3	Consigna	SJ3	"No pulsado"	"Pulsado"
Piloto	Información	PF	"No luce"	"Luce"

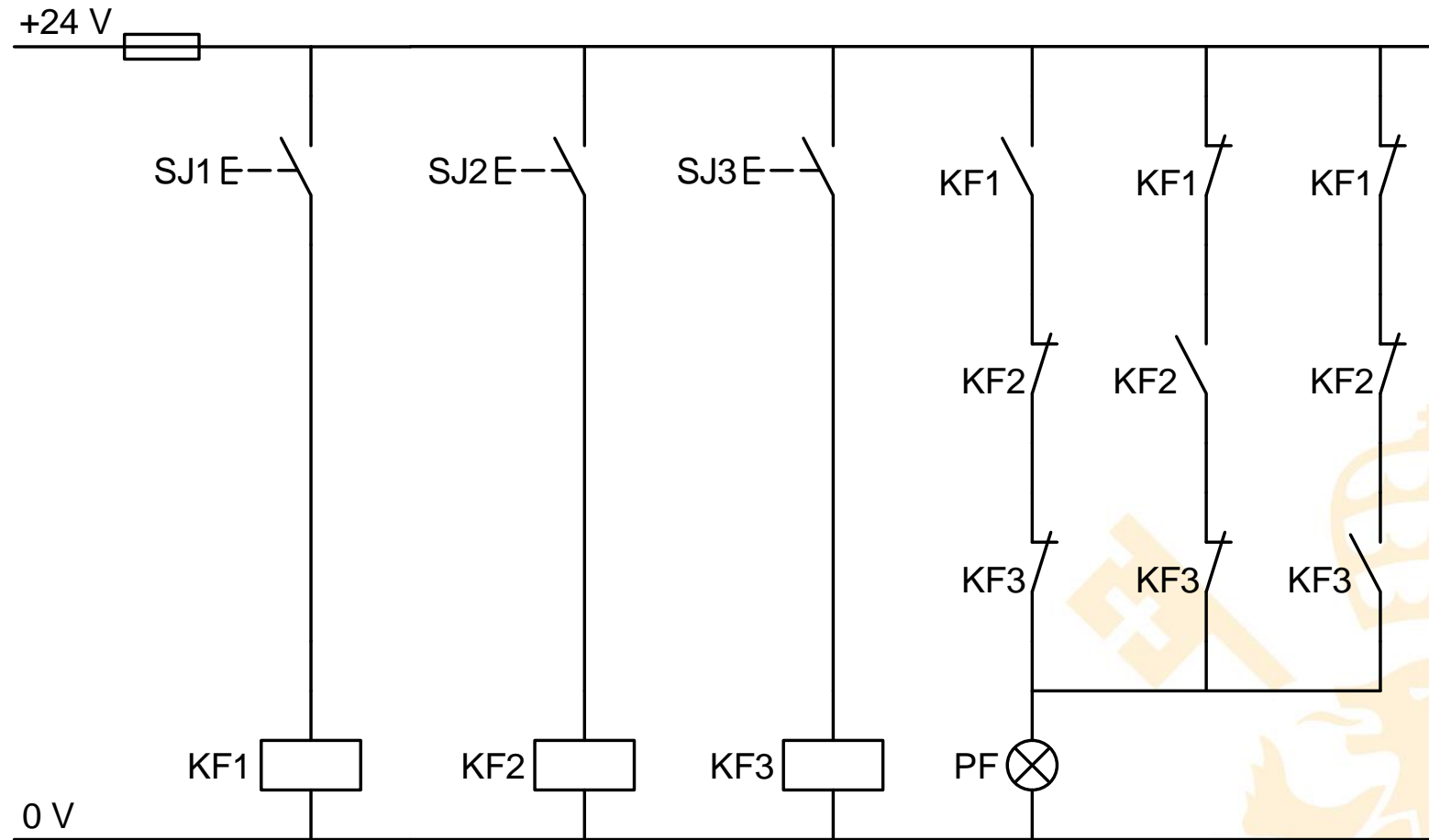
- **Función de observación**

- 3 variables independientes que representan a los pulsadores: SJ1, SJ2, SJ3
- 1 variable dependiente que representa el piloto: PF
- $PF = SJ1 \cdot SJ2' \cdot SJ3' + SJ1' \cdot SJ2 \cdot SJ3' + SJ1' \cdot SJ2' \cdot SJ3$
- $KF1 = SJ1$
- $KF2 = SJ2$
- $KF3 = SJ3$
- $PF = KF1 \cdot KF2' \cdot KF3' + KF1' \cdot KF2 \cdot KF3' + KF1' \cdot KF2' \cdot KF3$ 
  - Relés con 1 NO y 2 NC

# Detección de un solo pulsador pulsado (con numeración)

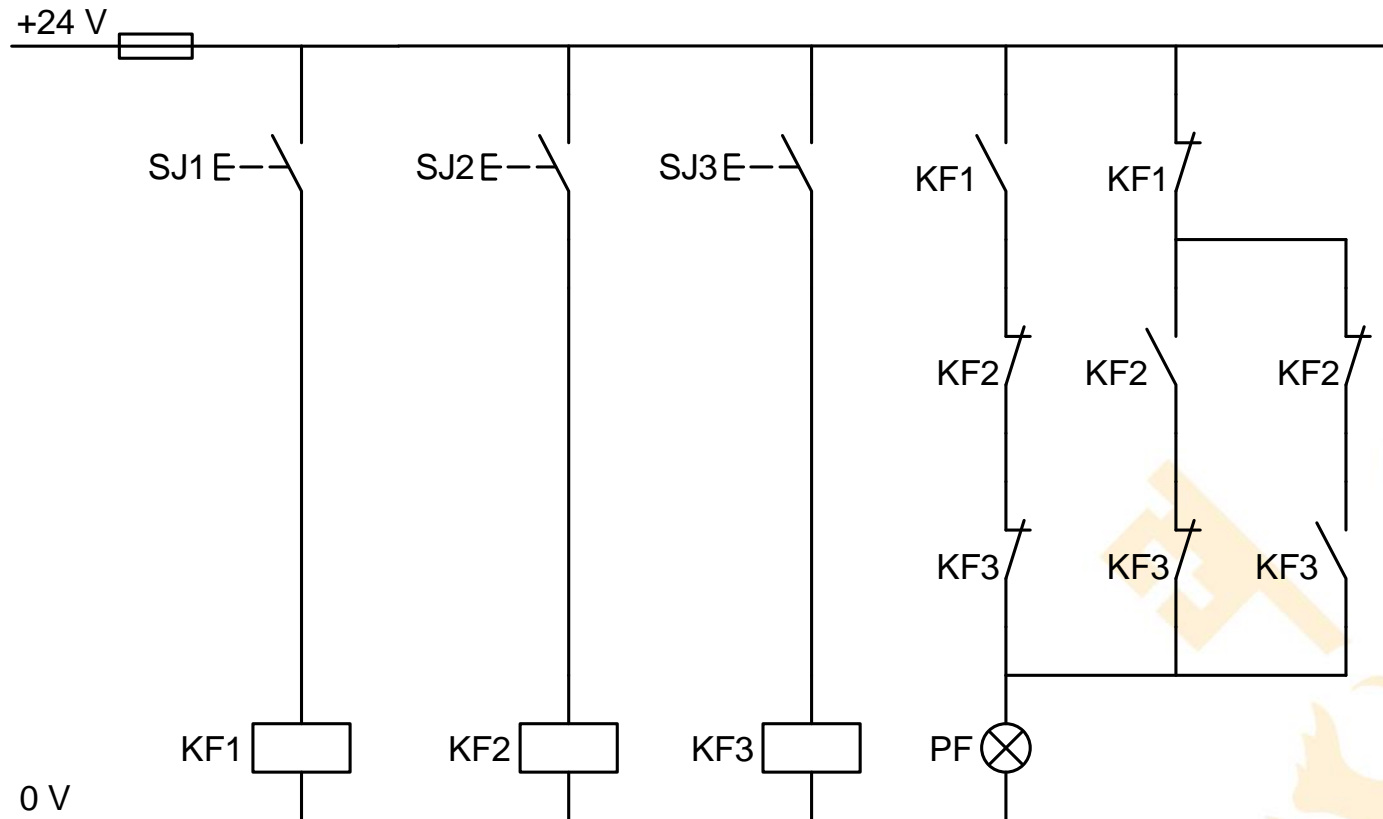


# Detección de un solo pulsador pulsado (sin numeración)



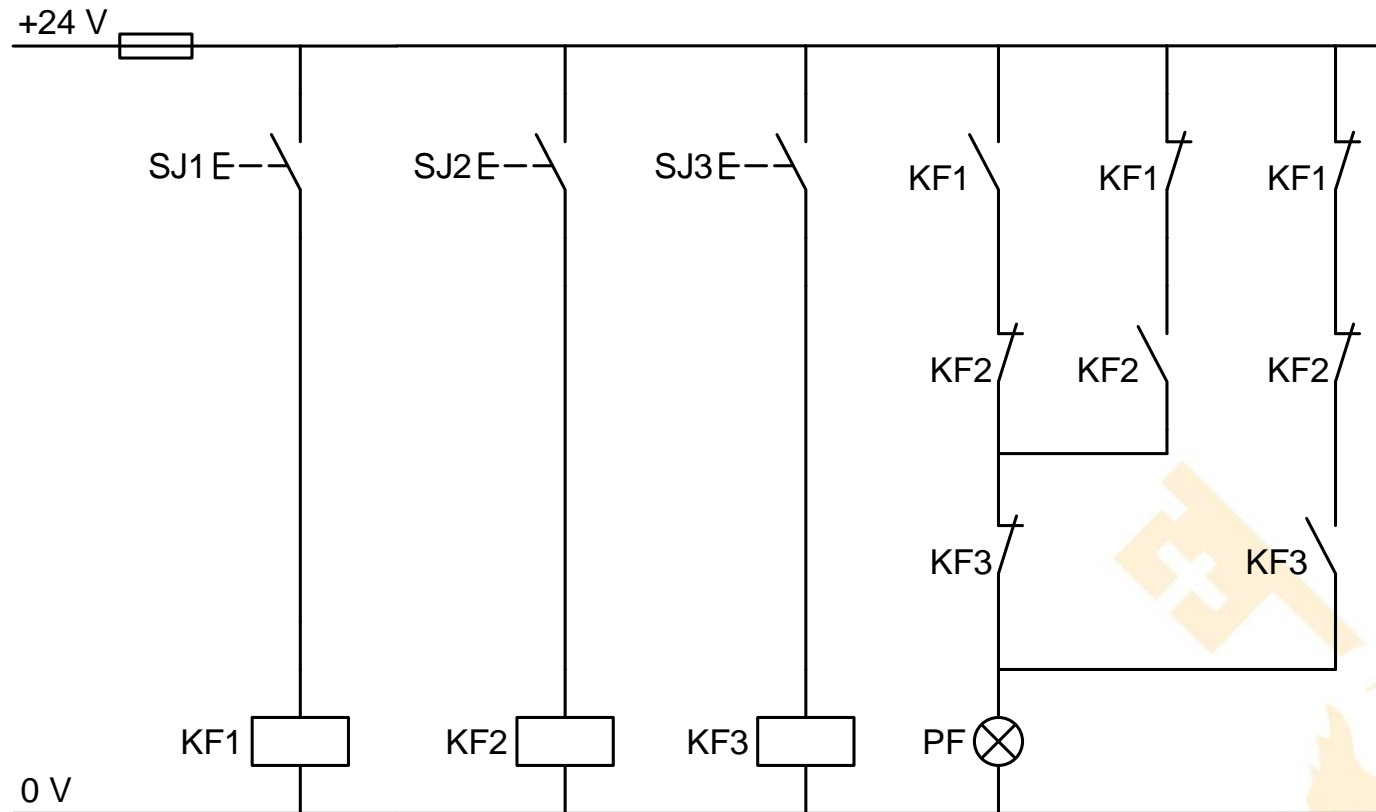
# Detección de un solo pulsador pulsado (simplificado KF1)

- $$PF = KF1 \cdot KF2' \cdot KF3' + KF1' (KF2 \cdot KF3' + KF2' \cdot KF3)$$

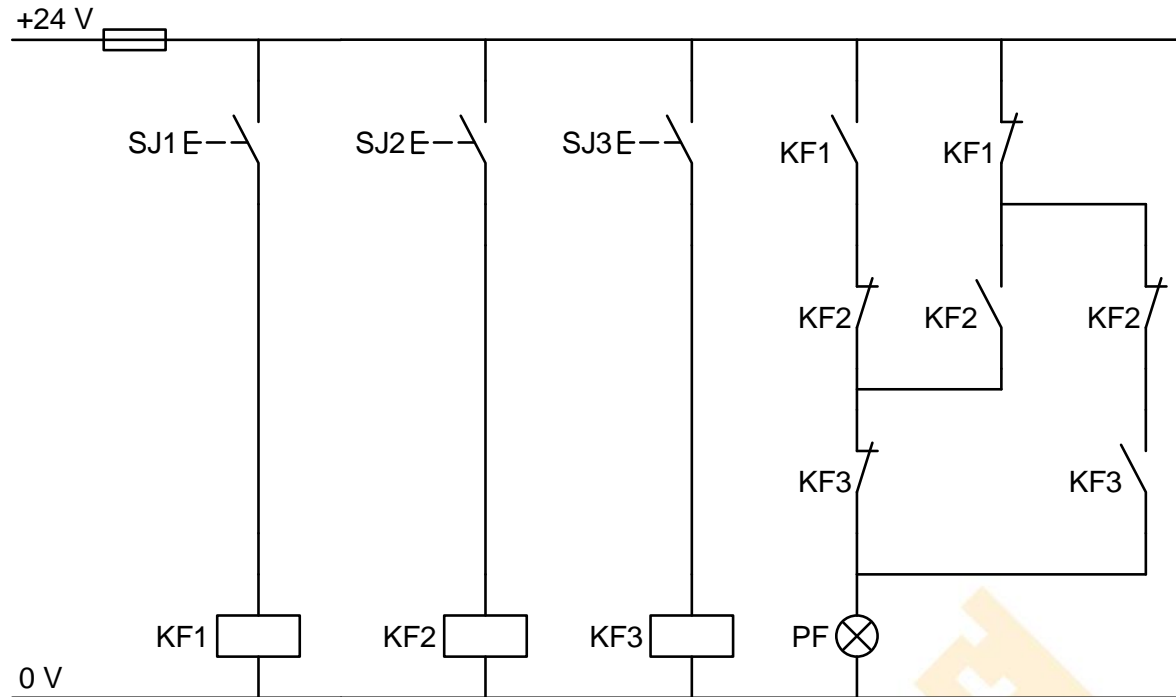


# Detección de un solo pulsador pulsado (simplificado KF3)

$$\bullet \text{ PF} = (\text{KF1} \cdot \text{KF2}' + \text{KF1}' \cdot \text{KF2}) \text{KF3}' + \text{KF1}' \cdot \text{KF2}' \cdot \text{KF3}$$

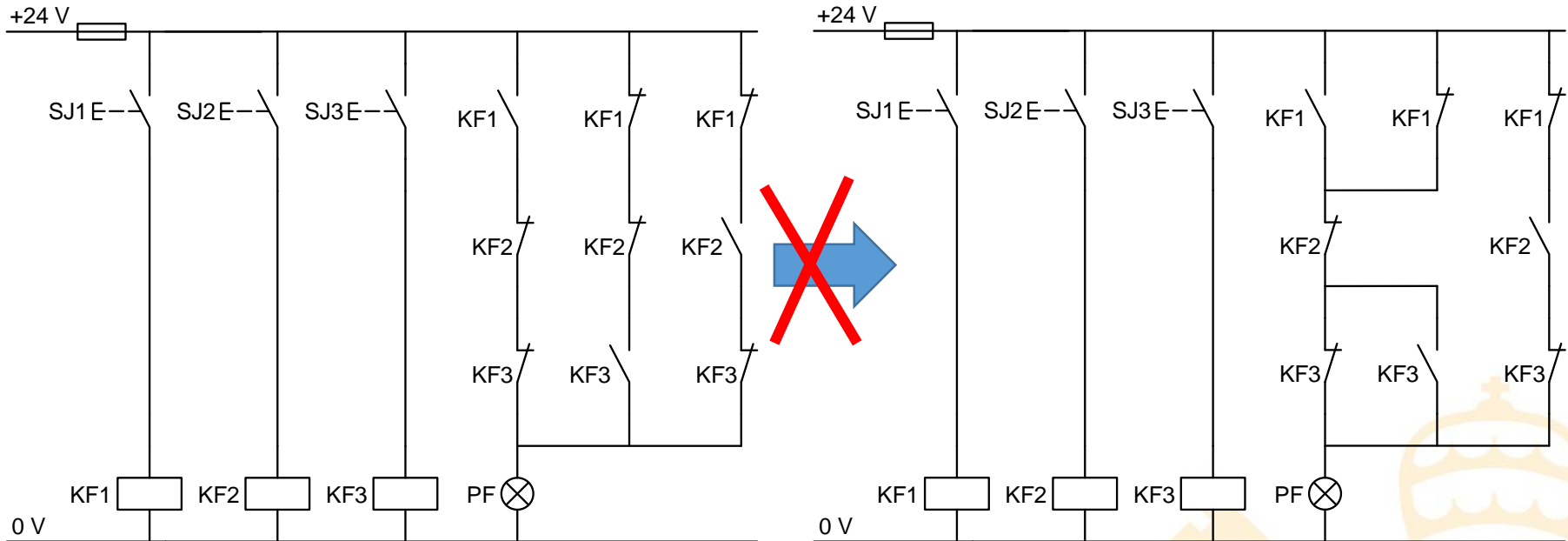


# Detección de un solo pulsador pulsado (simplificado KF1 KF3)



- ¿Es la misma función? Sí
  - $PF = KF3' (KF2' \cdot KF1 + KF2 \cdot KF1') + KF3 \cdot KF2' (KF1' + KF2 \cdot KF2' \cdot KF1)$
  - También se puede utilizar la tabla de la verdad para comprobarlo
- ¿Cuál se mantiene mejor? ¿Simplificada u original?

# Detección de un solo pulsador pulsado (simplificado KF2)



## • ¿Es la misma función? No

- $PF = (KF1 + KF1')KF2(KF3' + KF3) + KF1' \cdot KF2' \cdot KF3'$
- Cuidado con las simplificaciones eléctricas



# Ejercicio: lógica 2 de 3

- **Requisitos: Piloto que se enciende cuando al menos 2 de tres pulsadores están pulsados. Los pulsadores sólo tienen un contacto NO**

# Elementos tecnología cableada: contactor (relé de potencia)

- **Relé con uso de amplificador de potencia**

- Relé con los contactos preparados para manejar potencia
  - Motor (arranque directo)
  - Resistencias de caldeo
  - Alimentación en general
- Además puede llevar contactos auxiliares equivalentes a los de un relé tipo automatismo cableado
- Un relé de automatismo sólo puede alimentar cargas pequeñas
  - Motores monofásicos o de continua de baja potencia

- **Tiene siempre dos circuitos asociados:**

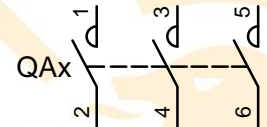
- Circuito de mando (o control) con la implementación de la expresión lógica que maneja la bobina del contactor
- Circuito de potencia (o fuerza) con la conexión a la carga (ej: motor)

- **Símbolo y denominación**

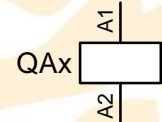
- Código IEC 81346-2: QA (IEC 61346-2: KM)
- Los contactos en el diagrama de potencia se presentan agrupados y con numeración de terminales diferente a los contactos de un KF



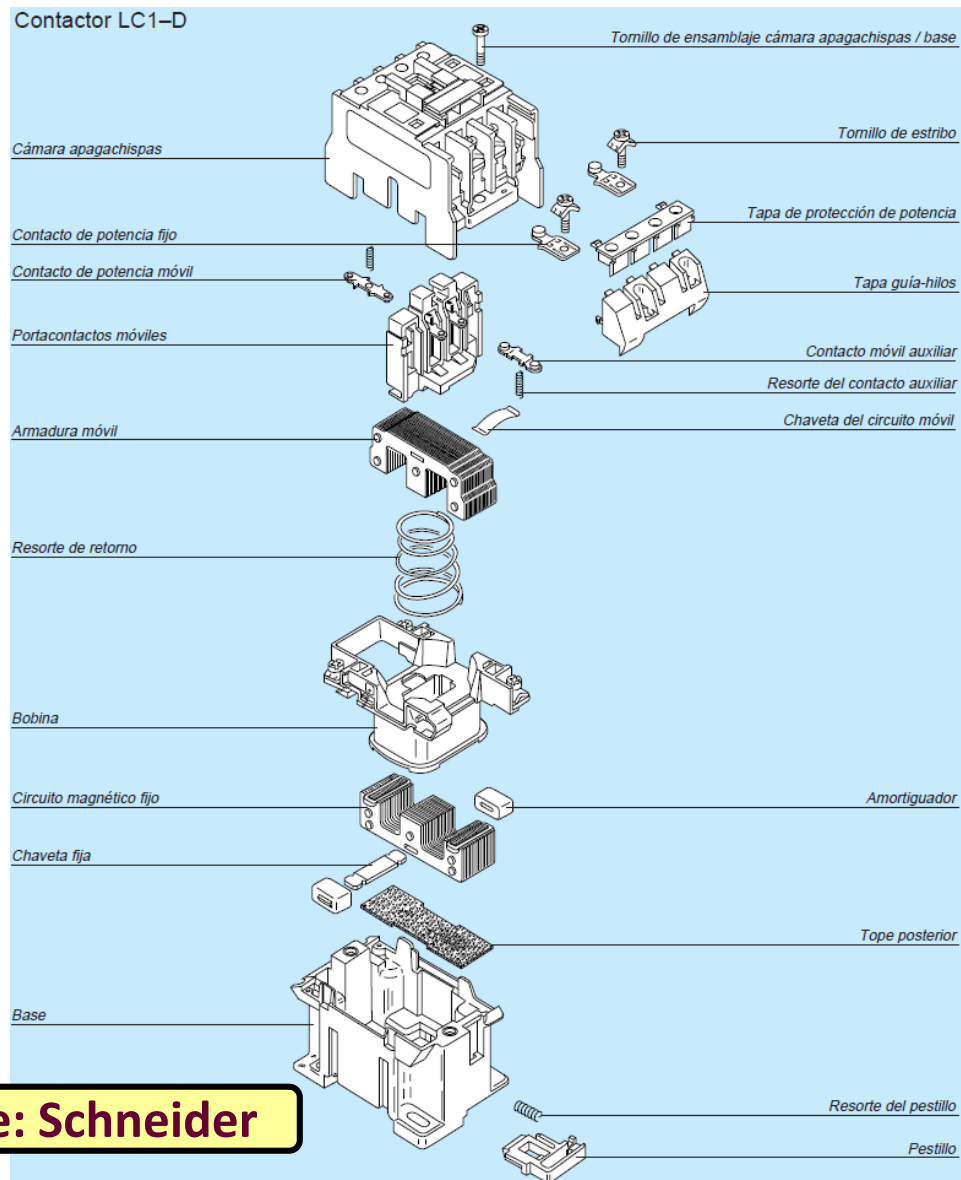
Símbolo circuito de potencia



Símbolo circuito de control



# Elementos de un contactor



**Fuente: Schneider**

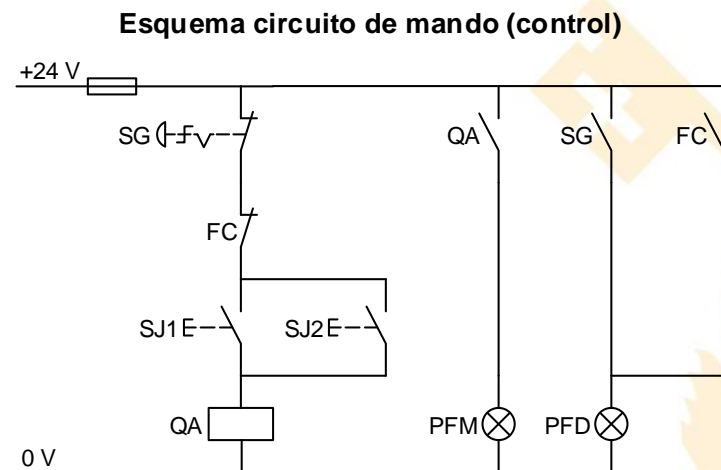
# Ejemplo con contactor: mando mezclador desde 2 pulsadores

- Requisitos:** Al pulsar uno de dos pulsadores un mezclador movido por un motor trifásico 400 VCA debe girar, si no se ha pulsado la seta de emergencia y no se ha disparado la protección térmica. Hay un piloto verde que indica motor girando. Otro piloto rojo indica que se ha activado la protección térmica o la seta de emergencia.

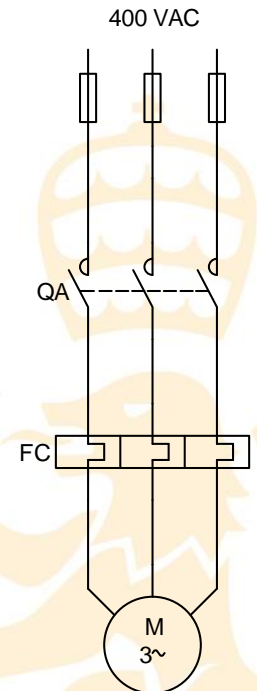
Fuente, receptor, ...	Tipo variable	Variable	0	1
Pulsador SJ1	Consigna	SJ1	"No marcha 1"	"Marcha 1"
Pulsador SJ2	Consigna	SJ2	"No marcha 2"	"Marcha 2"
Seta emergencia	Consigna	SG	"No pulsada"	"Pulsada"
Protección térmica	Proceso	FC	"No disparada"	"Disparada"
Motor mezclador	Orden	MA	"No girar"	"Girar"
Piloto motor girando	Información	PFM	"No girando"	"Girando"
Piloto defecto	Información	PFD	"No defecto"	"Defecto"

## • Funciones de control y observación

- Inicial sin limitación tecnológica
  - $MA = SG'FC'(SJ1 + SJ2)$
  - $PFM = MA$
  - $PFD = SG + FC$
- Introducción del contactor
  - $QA = SG'FC'(SJ1 + SJ2)$
  - $MA = QA$



**Esquema circuito de potencia (fuerza)**

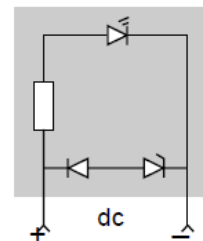
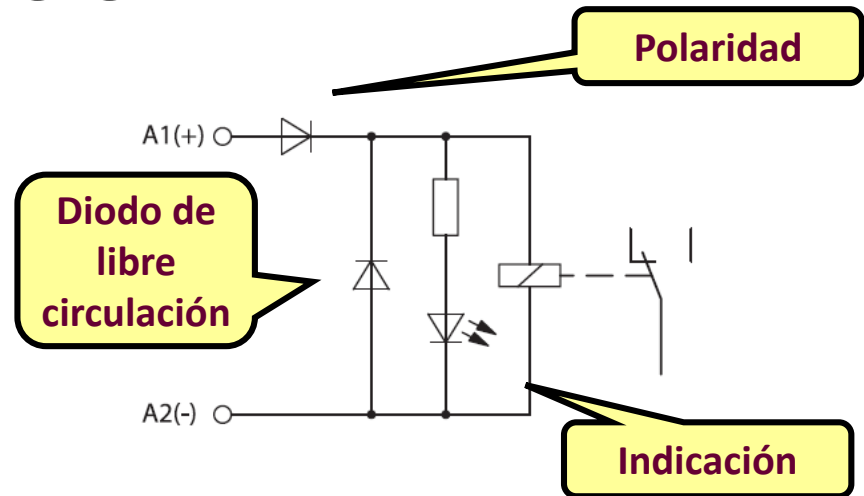


# Elementos que se conectan a la bobina del relé

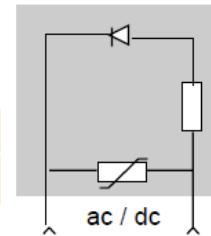
## • Protección contra sobretensión

- DC: Diodo de libre circulación
  - Necesario diodo de polaridad para que haga su función
- DC: Zener más diodo
- AC/DC: Varistor
- AC: Resistencia + condensador

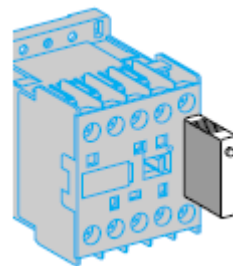
## • Indicación: led



**Zener + diodo**



**Varistor**



**Conexión física del módulo de protección contra sobretensión**

# Uso del relé en alterna y tecnologías del relé

## • Bobina en alterna

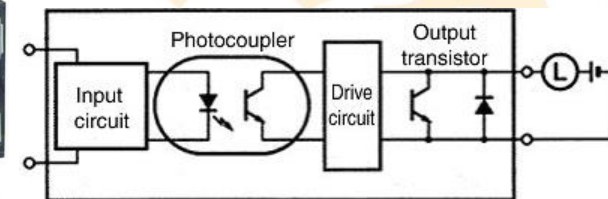
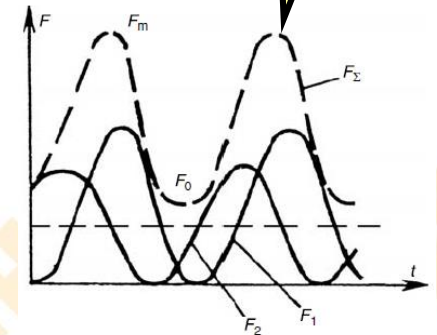
- Espira en la sombra
  - Mantiene un campo magnético remanente con una fuerza superior al muelle

## • Tipos de relés según tecnología

- Electromecánicos (EMR)
  - Aislamiento total
  - Disponible para cualquier tipo de tensión y carga
- Electrónicos o de estado sólido (SSR)
  - Alta frecuencia de conmutación
  - Bajo consumo
  - Sin ruido
  - Resistente a vibraciones
  - Conmutación por paso por cero
  - Carga limitada

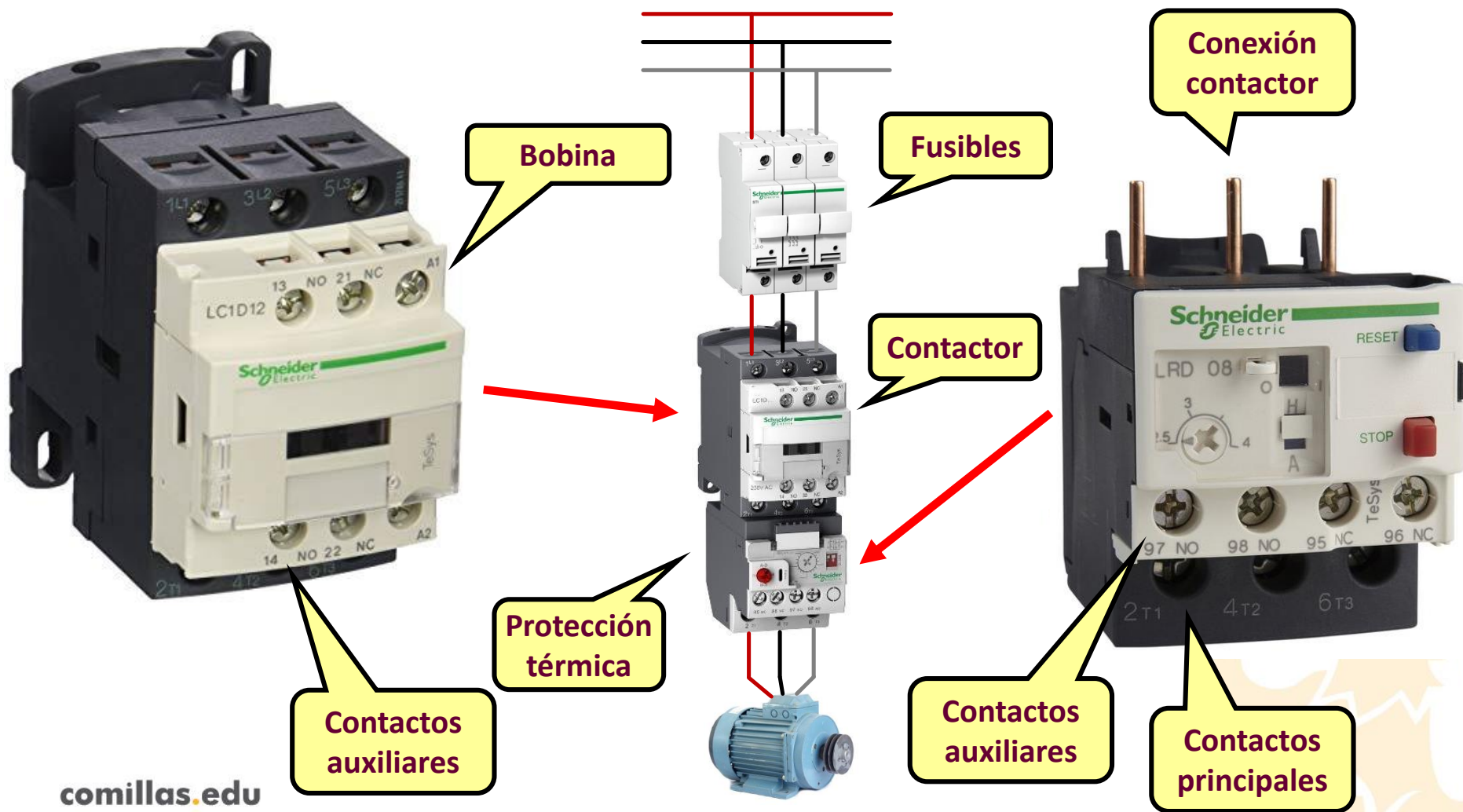


**Fuerza siempre mayor que la del muelle**





# Protección térmica





# Enclavamiento eléctrico: Mezclador con 2 sentidos

- **Requisitos:** El pupitre de control de un mezclador tiene dos pulsadores rotulados I y D. Mientras se pulsa I, el mezclador gira a izquierdas. Con D, gira a derechas. El mezclador está movido por un motor trifásico 400 VCA. Sólo puede girar si no se ha pulsado la seta de emergencia y no se ha disparado la protección térmica. Hay un piloto verde que indica motor girando. Otro piloto rojo indica que se ha activado la protección térmica o la seta de emergencia.

Fuente, receptor, ...	Tipo variable	Variable	0	1
Pulsador SJI	Consigna	SJI	"No izquierda"	"Izquierda"
Pulsador SJD	Consigna	SJD	"No derecha"	"Derecha"
Seta emergencia	Consigna	SG	"No pulsada"	"Pulsada"
Protección térmica	Proceso	FC	"No disparada"	"Disparada"
Motor giro a izquierdas	Orden	MAI	"No girar izq"	"Girar izq"
Motor giro a derechas	Orden	MAD	"No girar der"	"Girar der"
Piloto motor girando	Información	PFM	"No girando"	"Girando"
Piloto defecto	Información	PFD	"No defecto"	"Defecto"

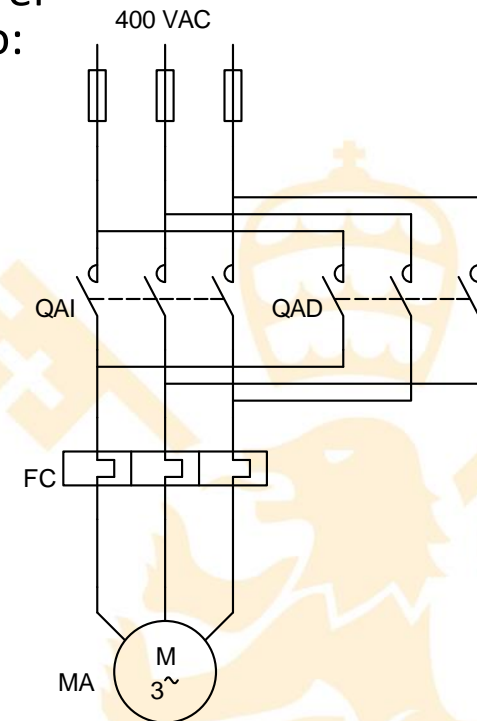
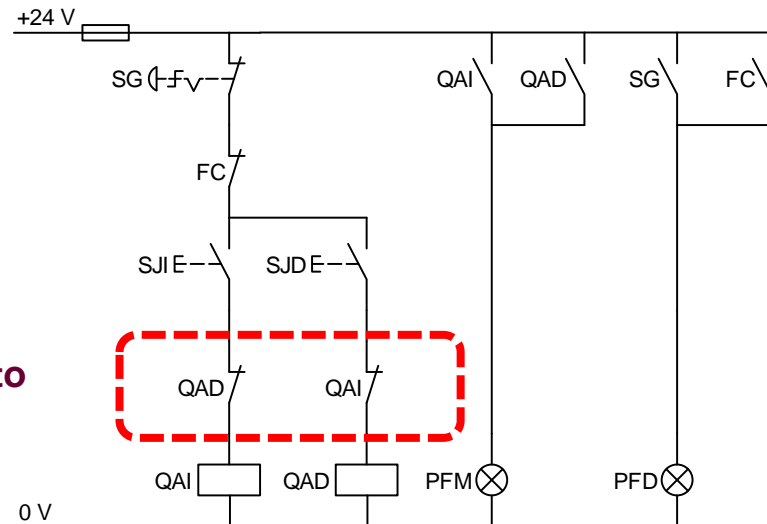
- **Funciones de control y observación**
  - Inicial sin limitación tecnológica
    - $MAI = SG'FC'SJI$ ,  $MAD = SG'FC'SJD$
    - $PFM = MAI + MAD$
    - $PFD = SG + FC$
  - Introducción de 2 contactores y enclavamiento
    - $QAI = QAD'SG'FC'SJI$ ,  $QAD = QAI'SG'FC'SJD$
    - $MAI = QAI$ ,  $MAD = QAD$

**Enclavamiento: evitar que los contactores estén cerrados a la vez**

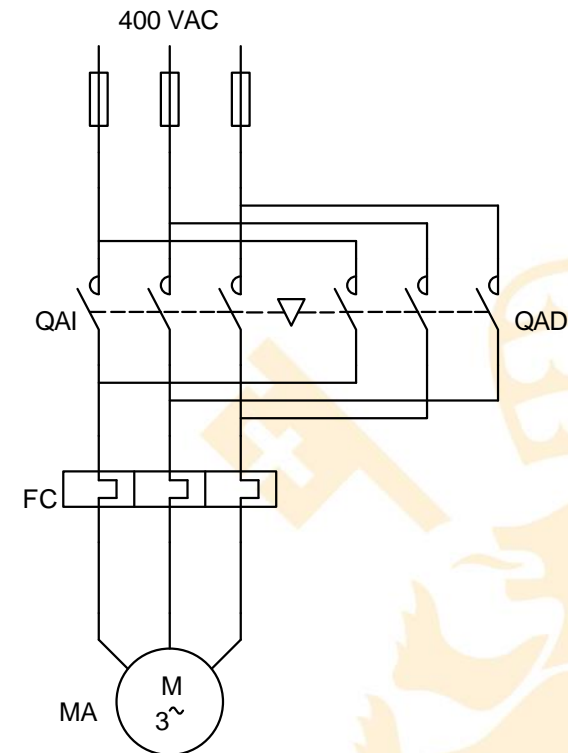
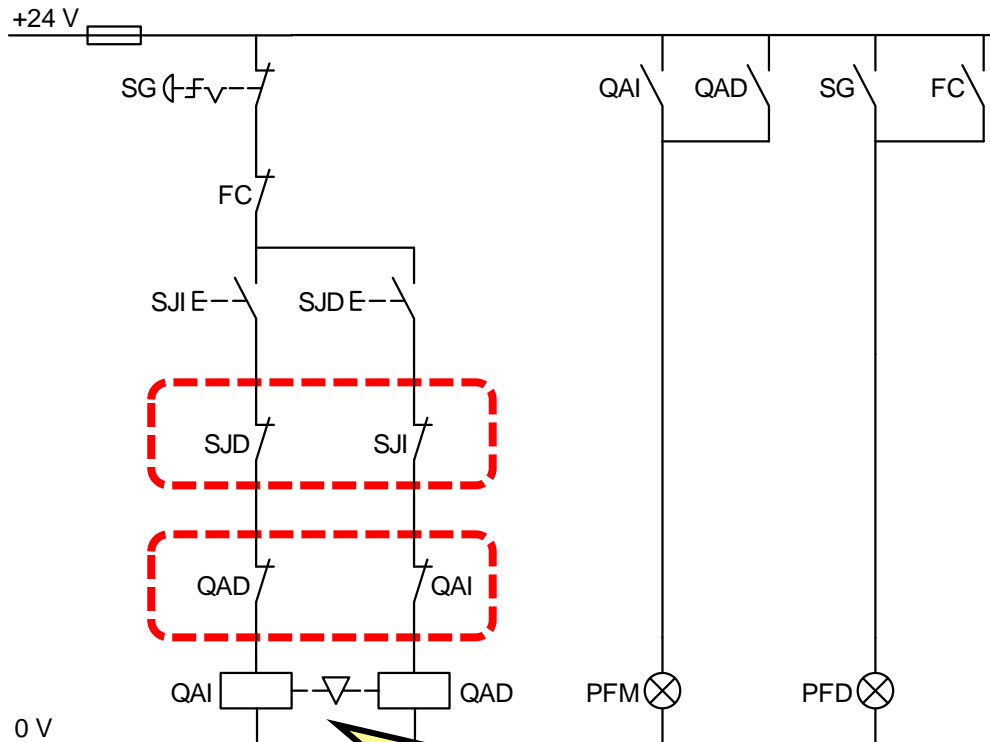
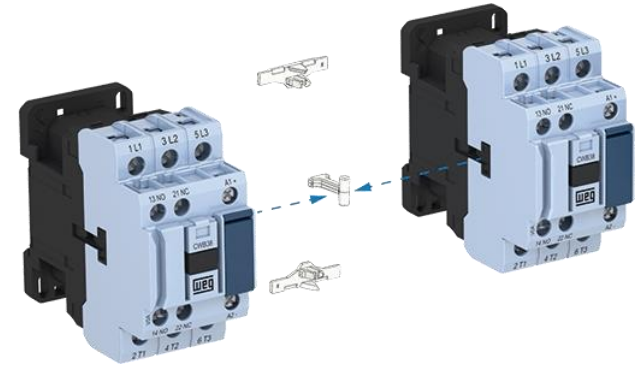
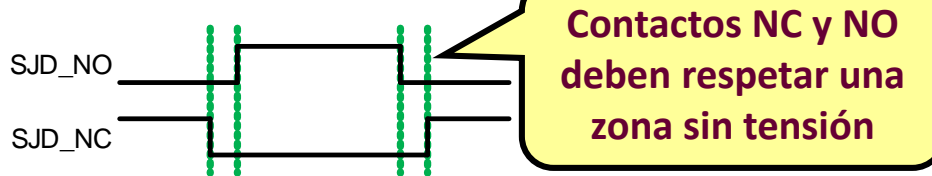
# Enclavamiento eléctrico: circuito mezclador

- El enclavamiento evita una situación de riesgo
  - Cortocircuito, acceso indebido, puesta en tensión indebida
- En la figura evita cortocircuito (obligatorio utilizarlo)
  - Una vez pulsado SJI, SJD queda inhabilitado y viceversa
  - Si se pulsan los dos simultáneamente puede no funcionar el enclavamiento (intermitencia). Métodos para solucionarlo:
    - Enclavamiento mecánico en los contactores
    - Enclavamiento eléctrico en los pulsadores

**Enclavamiento  
eléctrico**



# Enclavamiento mecánico y doble eléctrico



# Ejercicio: Control de taladro industrial

**Diseñe mediante un automatismo cableado el circuito de control de un taladro industrial. El pupitre de mando cuenta con tres pulsadores con un contacto normalmente abierto (NO) y otro normalmente cerrado (NC) etiquetados como MARCHA, SUBIR y BAJAR, un conmutador de tres posiciones rotulado MANUAL-PARADO-SEMIAUTOMÁTICO con un contacto NO por posición para seleccionar el modo de funcionamiento y una seta de emergencia. En el modo manual, el operador debe estar presionando permanentemente el pulsador de marcha y el de la orden (subir o bajar) para que el taladro funcione. Al alcanzar el final de carrera correspondiente, se dejará de taladrar. Por el contrario, en el modo semiautomático el pulsador de subir no tiene utilidad. En cuanto se deja de presionar BAJAR, el taladro empieza a subir automáticamente siempre que el pulsador de marcha siga activo. En el modo parado el taladro no responde a los pulsadores. Aparte de los elementos de mando y sensores indicados, puede utilizar contactores y relés auxiliares sin límite de contactos.**

# Proveedores automatización (ControlGlobal millones de \$)

1	<a href="#">Siemens</a>	\$12,559.7	16	<a href="#">FANUC</a>	\$1,897.1	31	<a href="#">Beckhoff</a>	\$920.5
2	<a href="#">Emerson</a>	\$10,063.4	17	<a href="#">Spectris</a>	\$1,888.1	32	<a href="#">azbil Group (Yamatake)</a>	\$856.2
3	<a href="#">ABB</a>	\$9,073.9	18	<a href="#">IMI</a>	\$1,780.9	33	<a href="#">Weidmuller</a>	\$840.9
4	<a href="#">Rockwell Automation</a>	\$6,367.6	19	<a href="#">Festo</a>	\$1,719.0	34	<a href="#">Bosch Rexroth</a>	\$813.9
5	<a href="#">Schneider Electric</a>	\$6,365.3	20	<a href="#">Sick AG</a>	\$1,717.7	35	<a href="#">Eaton</a>	\$771.0
6	<a href="#">Honeywell</a>	\$3,616.7	21	<a href="#">Advantech</a>	\$1,637.6	36	<a href="#">Fuji Electric</a>	\$757.9
7	<a href="#">Fortive (Danaher)</a>	\$3,516.9	22	<a href="#">National Instruments</a>	\$1,289.0	37	<a href="#">Pepperl+Fuchs</a>	\$713.0
8	<a href="#">Mitsubishi Electric</a>	\$3,403.8	23	<a href="#">TechnipFMC</a>	\$1,274.6	38	<a href="#">Roper Technologies</a>	\$706.6
9	<a href="#">GE</a>	\$3,182.5	24	<a href="#">Flowserve</a>	\$1,188.1	39	<a href="#">Samson</a>	\$692.3
10	<a href="#">Yokogawa Electric</a>	\$3,175.2	25	<a href="#">Mettler-Toledo</a>	\$1,158.3	40	<a href="#">Turck</a>	\$656.5
11	<a href="#">Omron</a>	\$2,970.2	26	<a href="#">Yaskawa</a>	\$1,074.5	41	<a href="#">Harting</a>	\$650.0
12	<a href="#">Ametek EIG</a>	\$2,690.6	27	<a href="#">Wika</a>	\$1,011.4	42	<a href="#">Thermo Fisher Scientific</a>	\$645.1
13	<a href="#">Endress+Hauser</a>	\$2,546.6	28	<a href="#">Wago</a>	\$979.5	43	<a href="#">Belden</a>	\$628.5
14	<a href="#">Phoenix Contact</a>	\$2,500.0	29	<a href="#">Teledyne Instruments</a>	\$953.9	44	<a href="#">Hitachi</a>	\$614.6
15	<a href="#">MKS Instruments</a>	\$1,916.0	30	<a href="#">IFM</a>	\$951.1	45	<a href="#">Horiba</a>	\$602.3

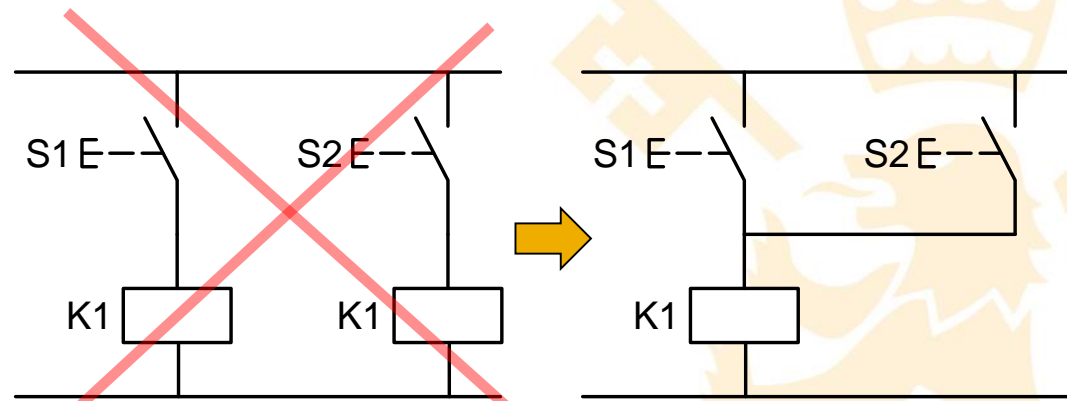
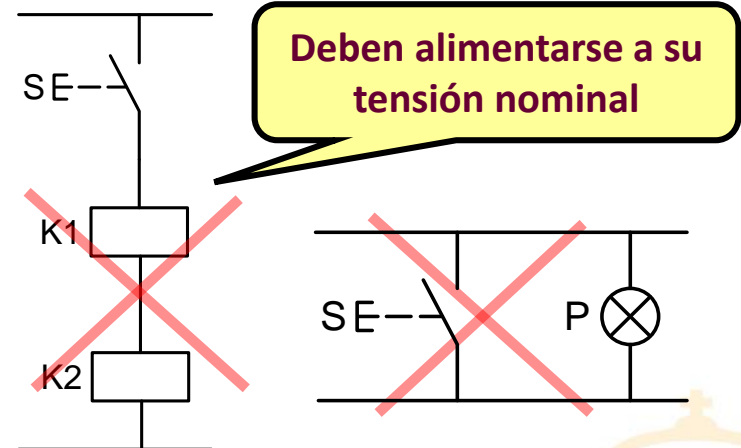
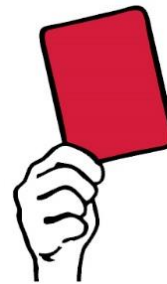
# Implementación sistema de control combinacional: resumen

- **Obtener las funciones de control y observación**
  - Determinar lógicas compartidas en el caso de varias funciones para disminuir coste implementación
- **Por cada variable de entrada:**
  - Calcular el número total de veces que aparece en las expresiones lógicas
  - Si los contactos del dispositivo asociado a la variable son suficientes en número y tipo no es necesario añadir ningún relé
  - Si no son suficientes, añadir relés con contactos y tipo suficientes
    - Tener en cuenta que un contacto original debe ser utilizado para gobernar el relé
- **Por cada variable de salida:**
  - Si el dispositivo asociado es un elemento de potencia (motor) habrá que gobernarlo mediante un contactor salvo en casos simples.
    - Si hay giro a derechas e izquierdas serán 2 variables y 2 contactores con enclavamiento eléctrico
- **Dibujar esquema del circuito de potencia**
  - Fusible (o interruptor automático) en cabecera y protección térmica por motor
- **Dibujar esquema del circuito de control**
  - Fusible en cabecera
  - Contactos en la parte superior
    - Sumas en la expresión lógica: conexión paralelo; productos: conexión serie
  - Consumidores de energía (bobinas, pilotos) en la parte inferior
  - Conexión de contactos con alimentación y consumidores según expresión lógica
    - La claridad del dibujo importa para evitar confusiones



# Errores graves al dibujar los circuitos

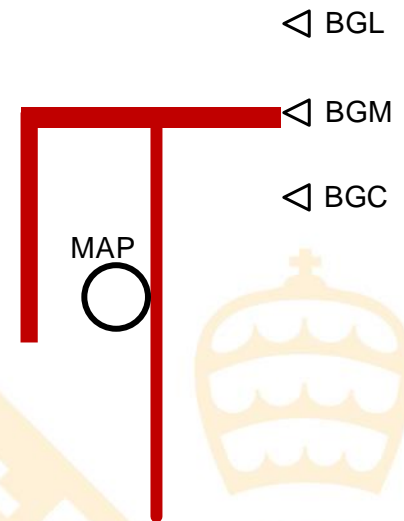
- Más de un consumo en serie
- Negar realizando cortocircuitos
- Repetir el mismo elemento consumidor en el circuito
- Ojo: los esquemas poco organizados son propensos a estos errores





# Ejemplo de automatismo cableado: Empujador

- El empujador de la figura activado por el motor MAP es capaz de moverse entre las posiciones señalizadas por los sensores inductivos BGC (1NO), BGM (1NC) y BGL (1NO). Para probar el funcionamiento del empujador y los sensores se va a utilizar un automatismo cableado. En el pupitre de control hay un conmutador de tres posiciones etiquetadas BGC, BGM y BGL y dos pulsadores, uno para indicar avance (SJA) y el otro para indicar retroceso (SJR). Los sensores son de tipo inductivo.
- El funcionamiento del sistema es el siguiente: mientras se pulsa avance (subir según la figura) o retroceso (bajar según la figura), el empujador se mueve, avanzando o retrocediendo, hasta llegar a la posición del sensor indicada por el conmutador. Cuando se alcanza, el empujador se para, aunque se siga pulsando el pulsador. También se para si se deja de pulsar el pulsador o se pulsan los dos pulsadores. En cualquier caso, el empujador sólo se puede mover entre BGL y BGC.
- Además, se utilizan 2 pilotos para indicar empujador avanzando (PFA) o retrocediendo (PFR).
- Diseña el automatismo cableado (control y potencia) para controlar el empujador. Tanto conmutador como pulsadores tiene un solo contacto asociado del tipo que se desee. Los relés disponibles tienen un máximo de 4 contactos del tipo que se desee.



# Solución: funciones y circuito de potencia

Fuente, receptor, ...	Tipo variable	Variable	0	1
Conmutador probar BGL	Consigna	SGL	"No larga"	"Larga"
Conmutador probar BGM	Consigna	SGM	"No media"	"Media"
Conmutador probar BGC	Consigna	SGC	"No corta"	"Corta"
Pulsador SJA	Consigna	SJA	"No avance"	"Avance"
Pulsador SJR	Consigna	SJR	"No retroceso"	"Retroceso"
Final de carrera larga	Proceso	BGL	"No larga"	"Larga"
Final de carrera medio	Proceso	BGM	"No media"	"Media"
Final de carrera corto	Proceso	BGC	"No corta"	"Corta"
Motor gira avance	Orden	MAPA	"No avanza"	"Avanza"
Motor gira retroceso	Orden	MAPR	"No retrocede"	"Retrocede"
Piloto avanza	Información	PFA	"No avanza"	"Avanza"
Piloto retrocede	Información	PFR	"No retrocede"	"Retrocede"

## • Funciones de control

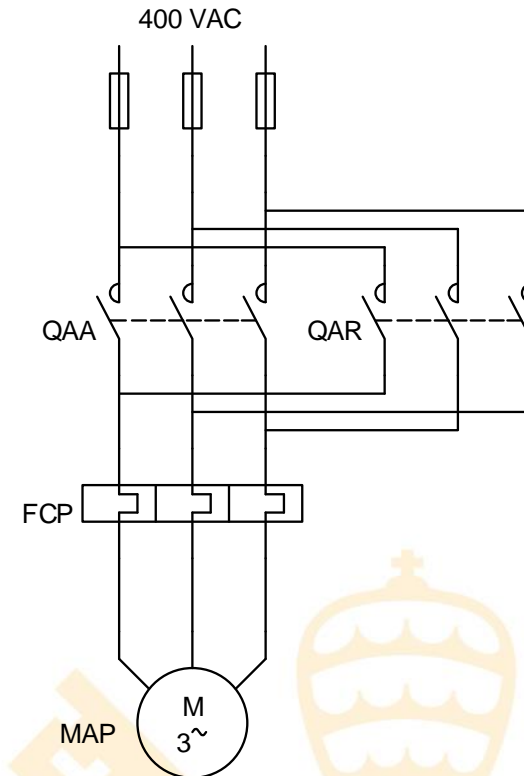
- $MAPA = BGL' \cdot SJA \cdot SJR' (SGC \cdot BGC' + SGM \cdot BGM' + SGL \cdot BGL') MAPR'$
- $MAPR = BGC' \cdot SJR \cdot SJA' (SGC \cdot BGC' + SGM \cdot BGM' + SGL \cdot BGL') MAPA'$

## • Funciones de observación

- $PFA = MAPA$
- $PFR = MAPR$

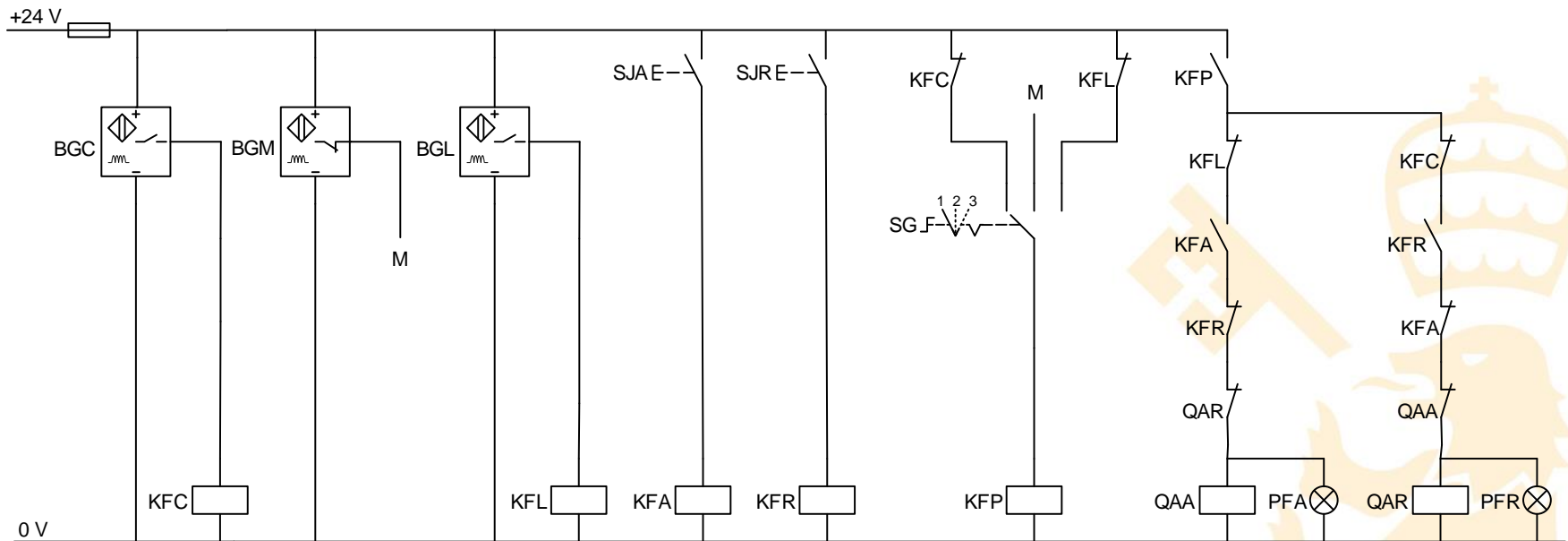
## • Si no se piden expresamente las funciones se puede dibujar directamente la solución

- El objetivo final es el diseño de un circuito que cumpla con la especificación



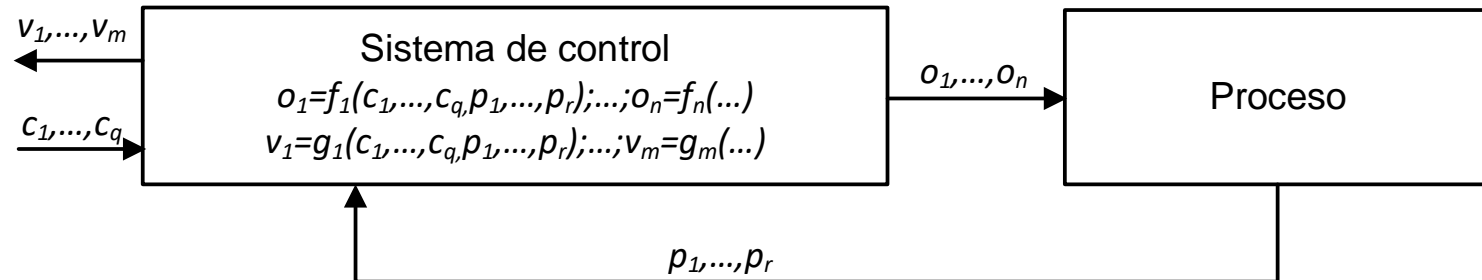
# Solución: circuito de control

- **Limitación 1 contacto para pulsadores, sensores y posición de conmutador**
  - $KFC=BGC$ ,  $KFL=BGL$ ,  $KFA=SJA$ ,  $KFR=SJR$
  - Posiciones del conmutador: SG1, SG2, SG3
  - $KFP= SG1 \cdot KFC' + SG2 \cdot BGM' + SG3 \cdot KFL'$ 
    - Conmutador garantiza que sólo hay una selección (si hay duda: término completo)
  - $QAA=KFP \cdot KFL' \cdot KFA \cdot KFR' \cdot QAR'$
  - $QAR=KFP \cdot KFC' \cdot KFR \cdot KFA' \cdot QAA'$

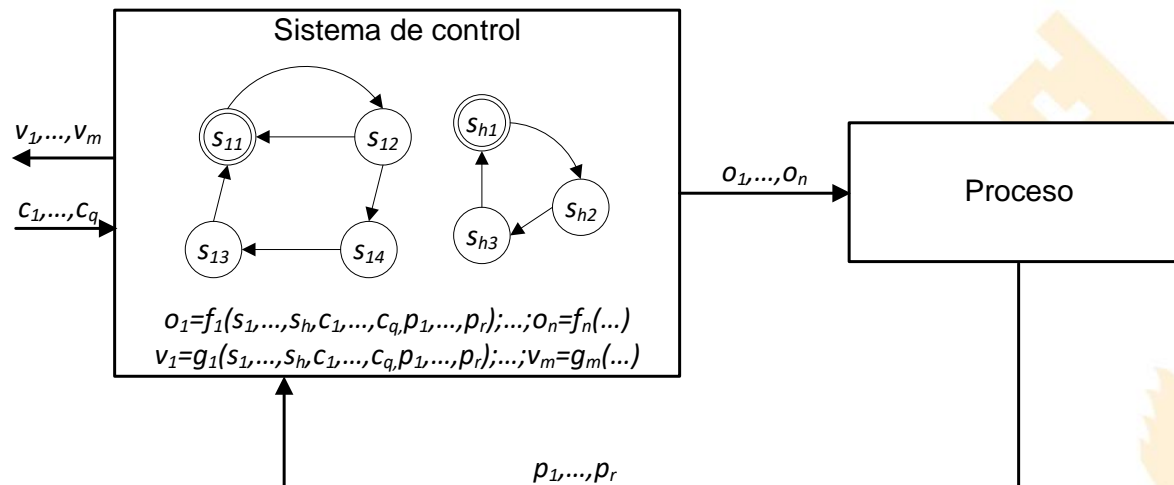


# Implementación de algoritmos de control secuencial

- **Visto: implementación con tecnología cableada de sistemas de control combinacional**
  - Variables de salida son función directa de las variables de entrada



- **¿Cómo se implementan un sistema de control secuencial con tecnología cableada?**
  - Variables de salida son función de las variables de entrada y de su evolución previa



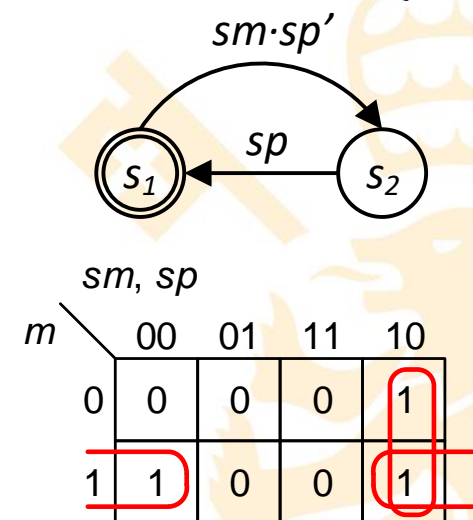
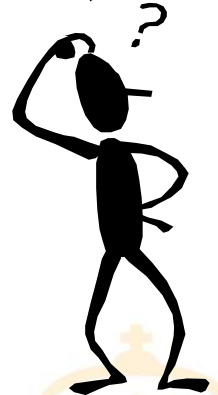
# Clave: solución al problema marcha/paro de motor

- **Requisitos de la automatización:** en un panel de control hay dos pulsadores para poner en marcha y parar un motor
- **Variables (sin incluir estado):**

Fuente, receptor, ...	Tipo variable	Variable	0	1
Pulsador de marcha	Consigna	$sm$	"No orden de marcha"	"Orden de marcha"
Pulsador de paro	Consigna	$sp$	"No orden de paro"	"Orden de paro"
Motor	Orden	$o$	"No Girar"	"Girar"

- **Tipo de algoritmo de control: secuencial**
  - Con los pulsadores sin pulsar el motor puede estar girando y no girando
- **Estados posibles**
  - $S = \{s_1, s_2\}$  ( $s_1$ :motor no girando;  $s_2$ :motor girando)
  - Codificación: variable  $m$  ( $0:s_1$ ;  $1:s_2$ )
- **Diagrama de estados**
  - Si en la transición sólo se utiliza  $sm$  el sistema no tiene un estado estable al pulsar  $sm$  y  $sp$  a la vez
- **Función de transición: tabla**
  - $m = m \cdot sp' + sm \cdot sp' = sp'(m + sm)$
- **Función de control:  $o = m$**

¿Cómo se implementa  $sp'(m + sm)$ ?



# Solución: Circuito de marcha/paro

## • Operativa:

- Al pulsar SJM, QA se activa y cierra su contacto
- Al dejar de pulsar SJM, QA sigue activado gracias a su contacto
- Al pulsar SJP, QA se desactiva
- Hay un retardo entre la aplicación de tensión a la bobina y el cierre de los contactos
- Es una memoria de 1 bit

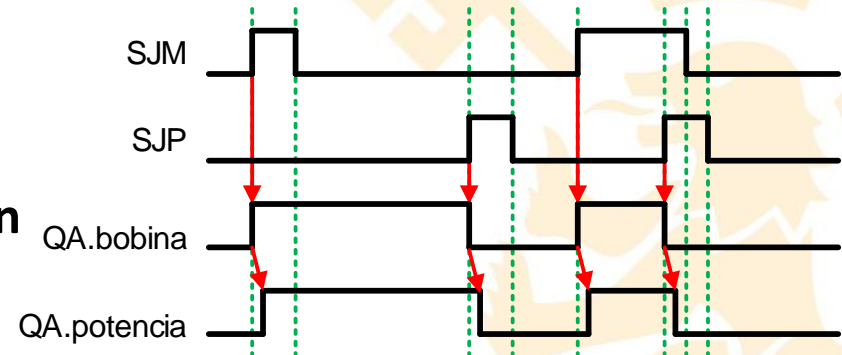
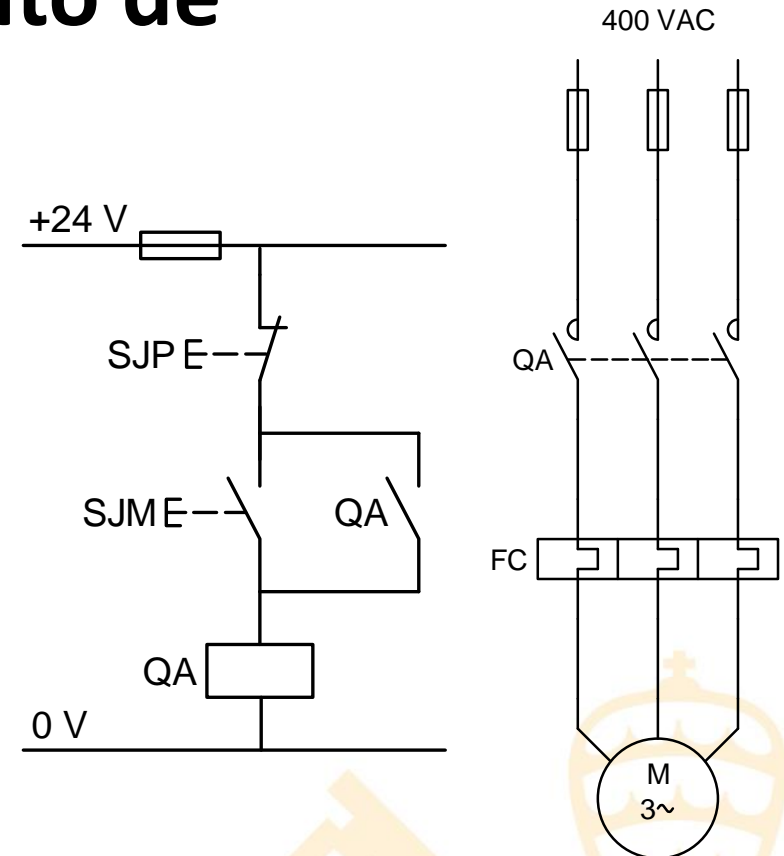
## • Función lógica: $QA = SJP'(SJM + QA)$

$$m = sp'(m + sm)$$

## • Ejemplo de uso: marcha/paro desde sitios diferentes

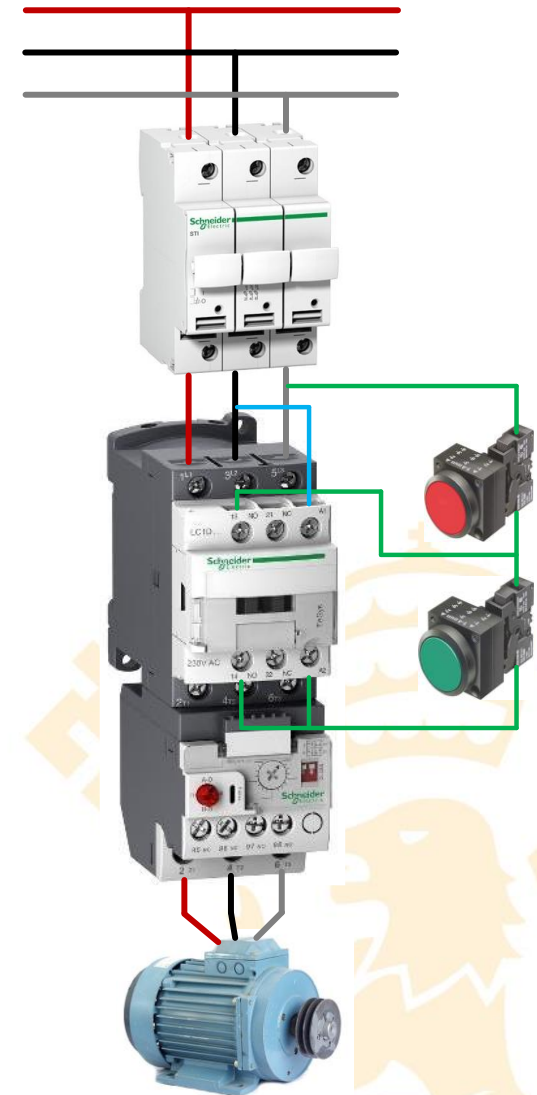
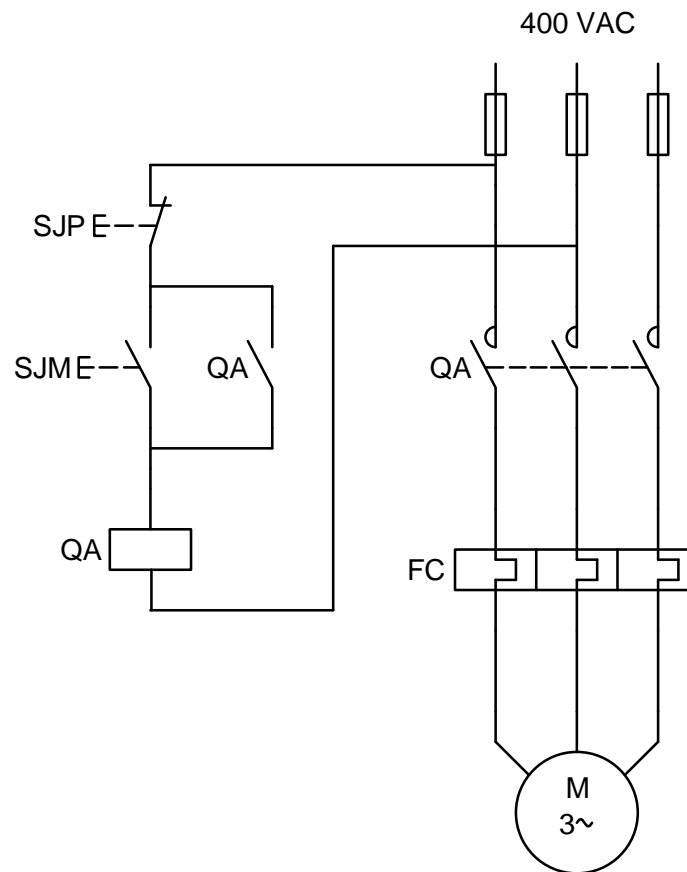
- Un conmutador no puede realizar esta función

## • La realimentación mediante QA también se llama enclavamiento



# Circuito marcha/paro con alimentación común

- Bobina y pulsadores deben ser adecuados para la tensión nominal





# Generalizar solución: condiciones múltiples de paro y marcha

- **Tres funciones lógicas**

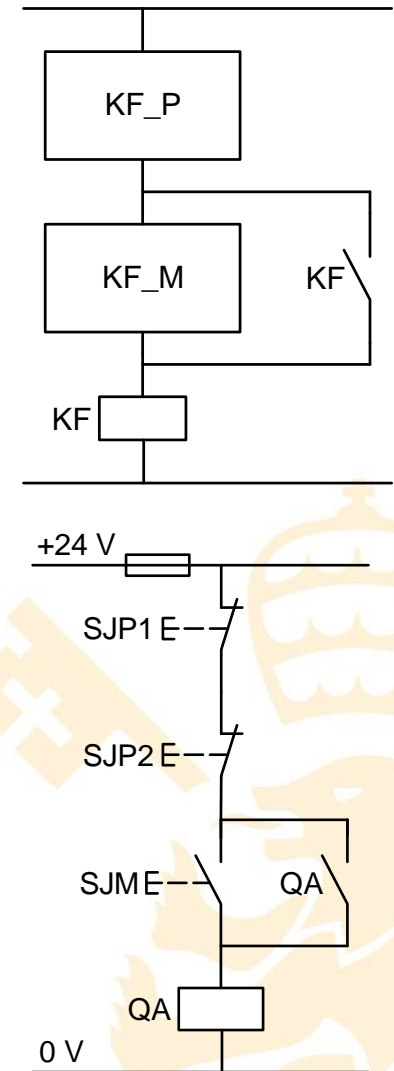
- Condiciones de marcha: variable  $KF\_M$
- Condiciones de paro: variable  $KF\_P$
- Relé:  $KF = KF\_P'(KF\_M + KF)$

- **Ejemplo: un motor se puede poner en marcha desde un pulsador y se puede parar desde dos pulsadores**

- Variables:  $SJM$ ,  $SJP1$ ,  $SJP2$
- $QA\_M = SJM$
- $QA\_P = SJP1 + SJP2$
- Contactor:
  - $QA = (SJP1 + SJP2)'(SJM + QA)$
  - $QA = SJP1'SJP2'(SJM + QA)$

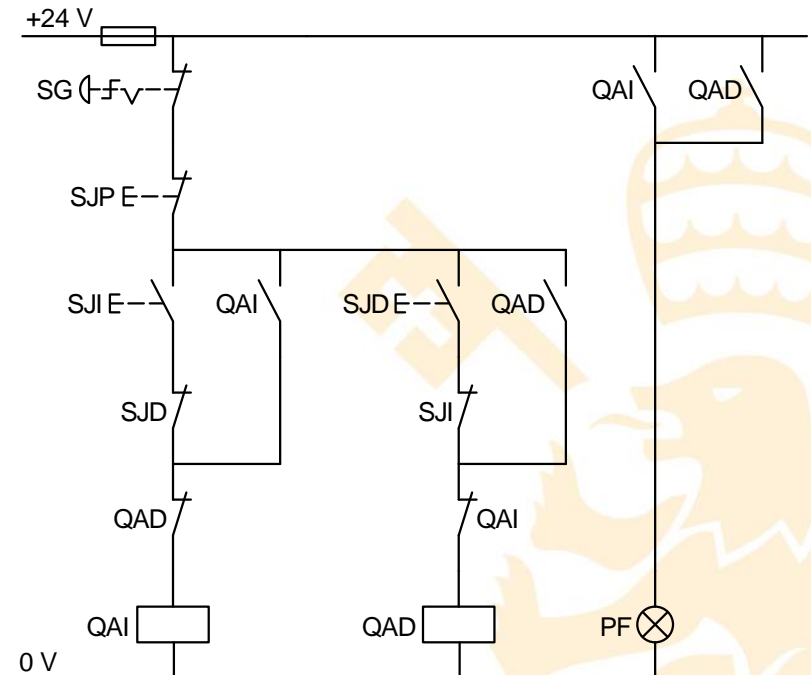
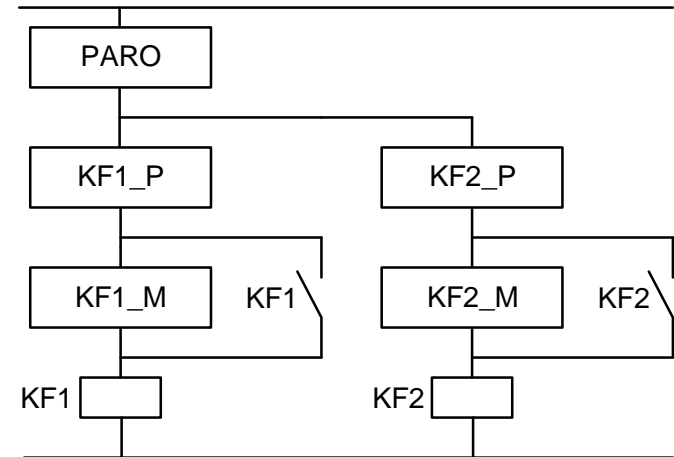
- **Las setas de emergencia es un elemento típico en la función de paro**

- Al pulsarla se para, al rearmar sigue parado

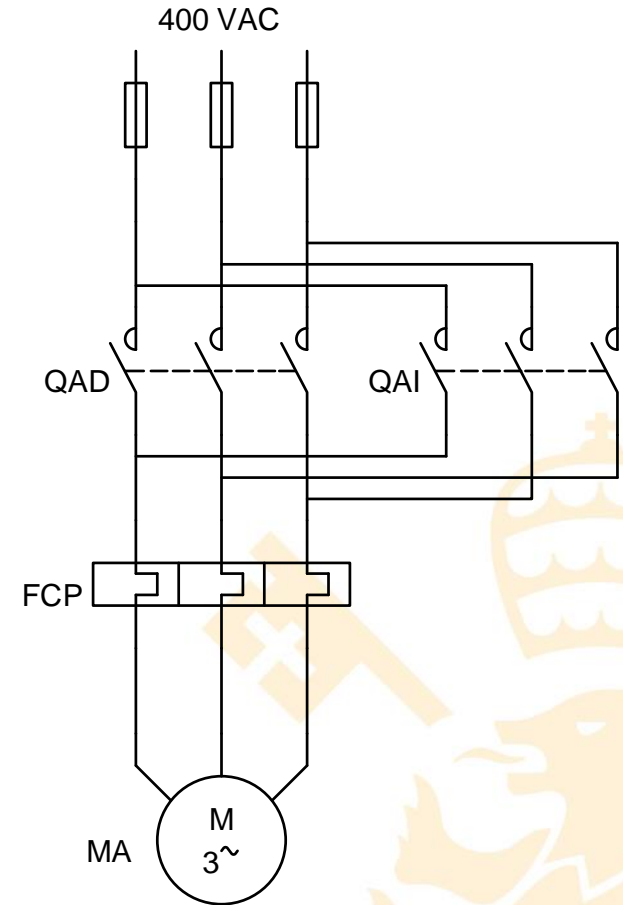
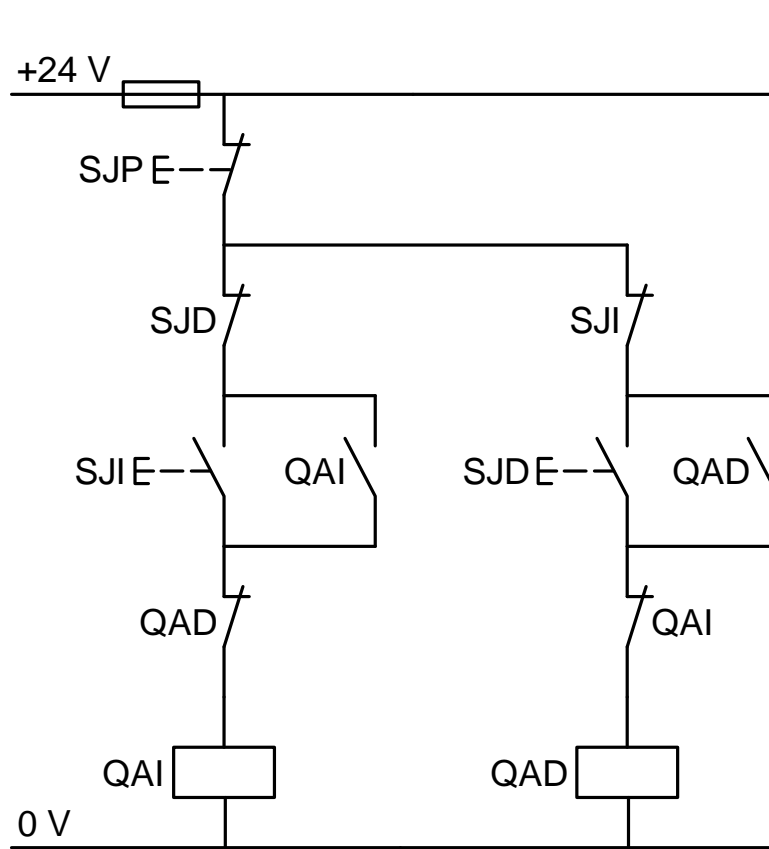


# Generalizar solución: paro compartido

- Circuitos de marcha/paro en paralelo que comparten el paro
- Ejemplo: controlar un motor trifásico desde un pupitre, con un pulsador SJD para dar la orden de giro a derechas al motor, SJI para giro izquierdas y SJP para parar el motor. Hay un piloto verde PF que luce cuando el motor está girando. También hay una seta de emergencia.
- Variables de entrada: SG, SJP, SJD, SJI
- Variables de salida: MAD (QAD), MAI (QAI)
- Cambiar de giro implicar parar el motor

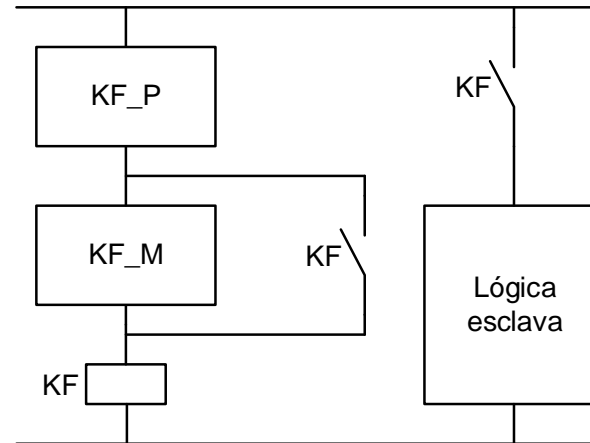


# Cambio de giro sin paso por parada

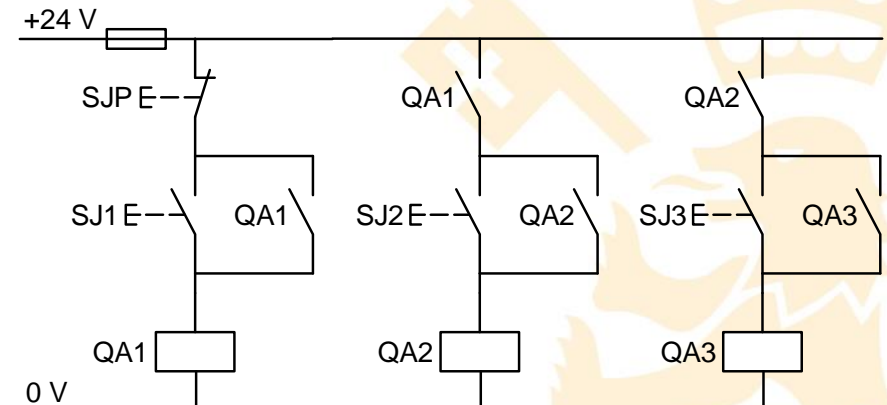


# Generalizar solución: configuración maestro/esclavo

- La lógica de un sistema (esclavo) depende de un sistema superior (maestro)
  - Las variables de salida de lógica esclava están siempre a 0 si no hay permiso de la lógica maestra
- **Uso:**
  - Puesta en marcha general
  - Arranque de motores en cascada
- **Ejemplo: Tres motores se arrancan en cascada. Hay un pulsador de marcha por motor y un pulsador de paro general. Para arrancar el motor siguiente debe estar arrancado el previo**
  - Variables de entrada: SJ1, SJ2, SJ3, SJP
  - Variables de salida: MA1, MA2, MA3
  - Solución: 3 marcha/paro en cascada

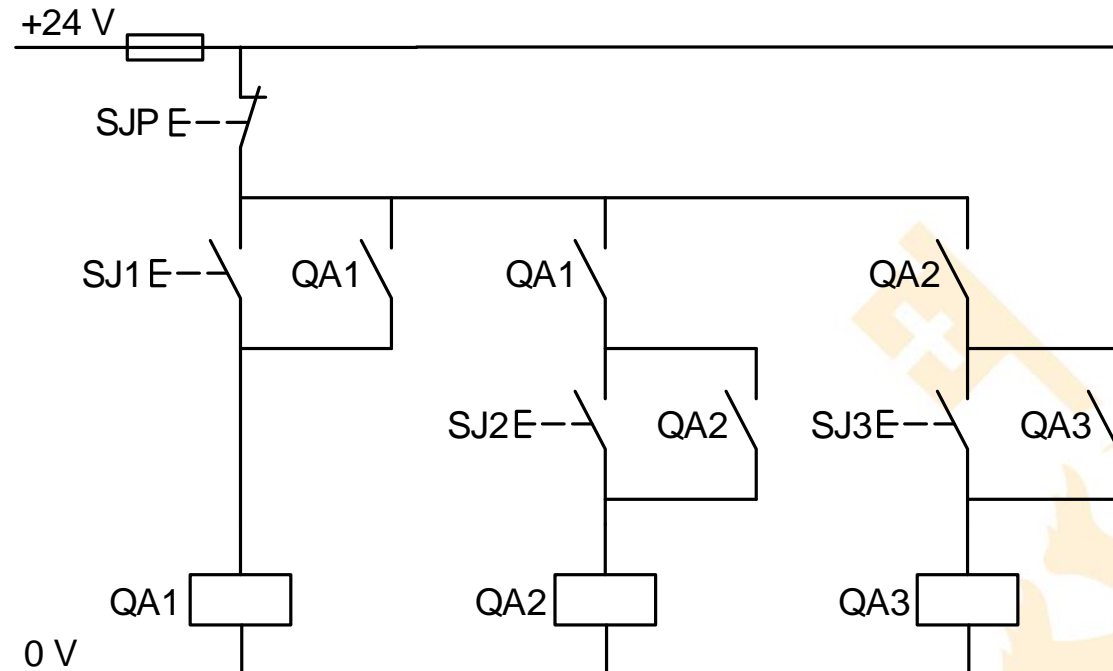


¿Se podría eliminar el contacto KF de la lógica esclava?



# Combinación paro compartido con maestro/esclavo

- En automatización garantizar la parada es más importante que la puesta en marcha
  - Utilizar parada común siempre que sea posible
  - Ejemplo motores en cascada: para aunque falle QA1
- Configuraciones también utilizadas en automatismos programados



# Ejercicio: sistema de aire comprimido

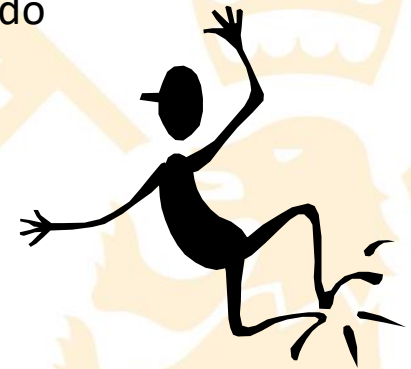
**El sistema de aire comprimido de una instalación está alimentado por dos compresores. Cuando la presión está por debajo de 6 bares entra en funcionamiento el primer compresor. Si la presión baja por debajo de 4 bares, entra el funcionamiento el segundo compresor. Cuando la presión sube por encima de 8 bares se paran los compresores. En el pupitre de control existe un pulsador de marcha, un pulsador de paro y un conmutador para seleccionar cuál es el primero y cuál es el segundo. Cada compresor es alimentado con un contactor trifásico. Hay tres presostatos tarados a 4, 6 y 8 bares denominados BP4, BP6 y BP8. Diseñar el esquema del circuito de control sabiendo que la tecnología es cableada**



# Generalizar solución: máquina de estado en código Grey

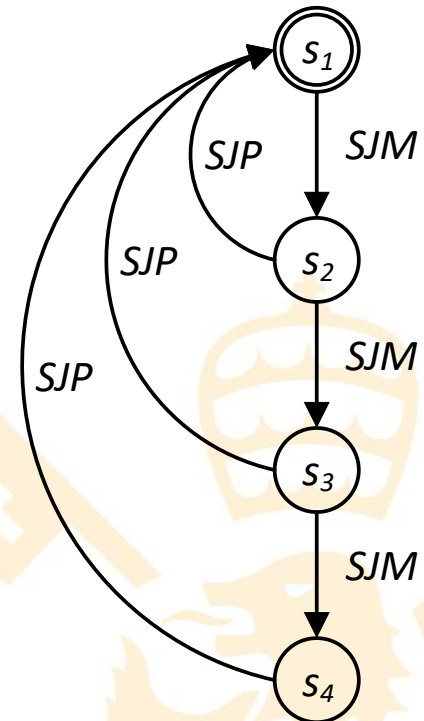
- **Las generalizaciones anteriores son limitadas**
  - Típicas de mucha experiencia práctica
  - No solucionan problemas un poco más complejos
- **Método general para resolver automatismos secuenciales con circuitos de marcha/paro**
  - Diseñar la máquina de estados a partir de los requisitos
  - Seleccionar variables para representar la máquina de estados
    - Cada variable será implementada mediante un relé
  - Codificar cada estado con un código Grey de tal manera que al ir de un estado a otro sólo cambie un bit
    - Si es necesario habrá que añadir estados adicionales
    - O utilizar una configuración maestro/esclavo y/o paro compartido
    - Evita las carreras de estados de la típica máquina secuencial asíncrona
  - Definir las funciones de marcha/paro de cada relé
  - Definir las funciones para las variables de salida
    - Incluir enclavamientos eléctricos donde sea necesario
  - Dibujar el circuito de control

**Generalizar sólo si da tiempo.**  
Temporizar básico si se ve en cualquier caso



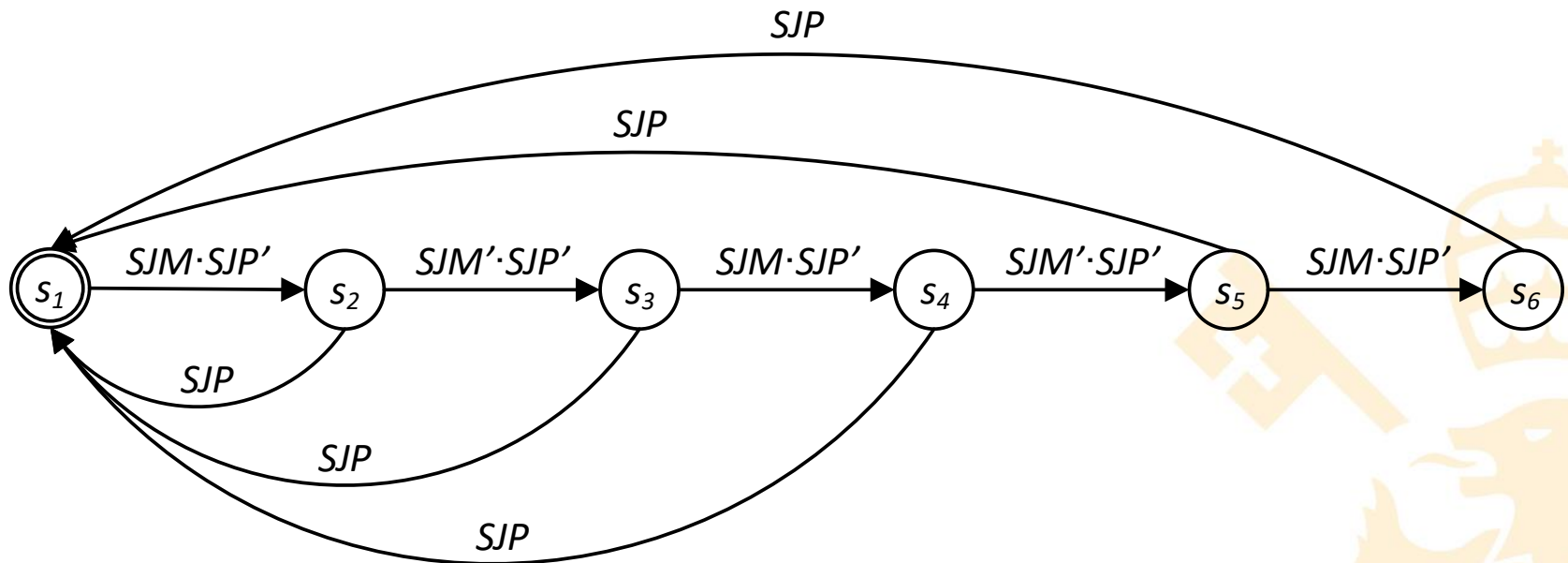
# Ejemplo: arranque de tres bombas con un pulsador (I)

- **Requisitos:** El arranque de tres bombas se realiza mediante un pulsador. Al pulsar la primera vez se arranca la bomba 1, la segunda la bomba 2 y la tercera, la bomba 3. Si en algún momento se pulsa el pulsador de paro, las bombas se paran.
- **Primer paso: identificar variables**
  - Entrada: SJM, SJP
  - Salida: MA1, MA2, MA3
- **Segundo paso: identificar tipo de control**
  - Secuencial
- **Tercer paso: diseñar máquina de estados**
  - Estados posibles:  $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$   $s_1$ : Parado;  $s_2$ : bomba 1;  $s_3$ : bomba 2;  $s_4$ : bomba 3
  - Diseño máquina de estados
    - Dibujar estados
    - Dibujar flechas entre estados para indicar las transiciones
    - Incluir las condiciones
  - Chequear el funcionamiento exhaustivamente
    - Error: Al pulsar SJM se pone las 3 bombas en marcha a la vez
    - Error: Si se pulsa SJM y SJP simultáneamente se vuelve inestable



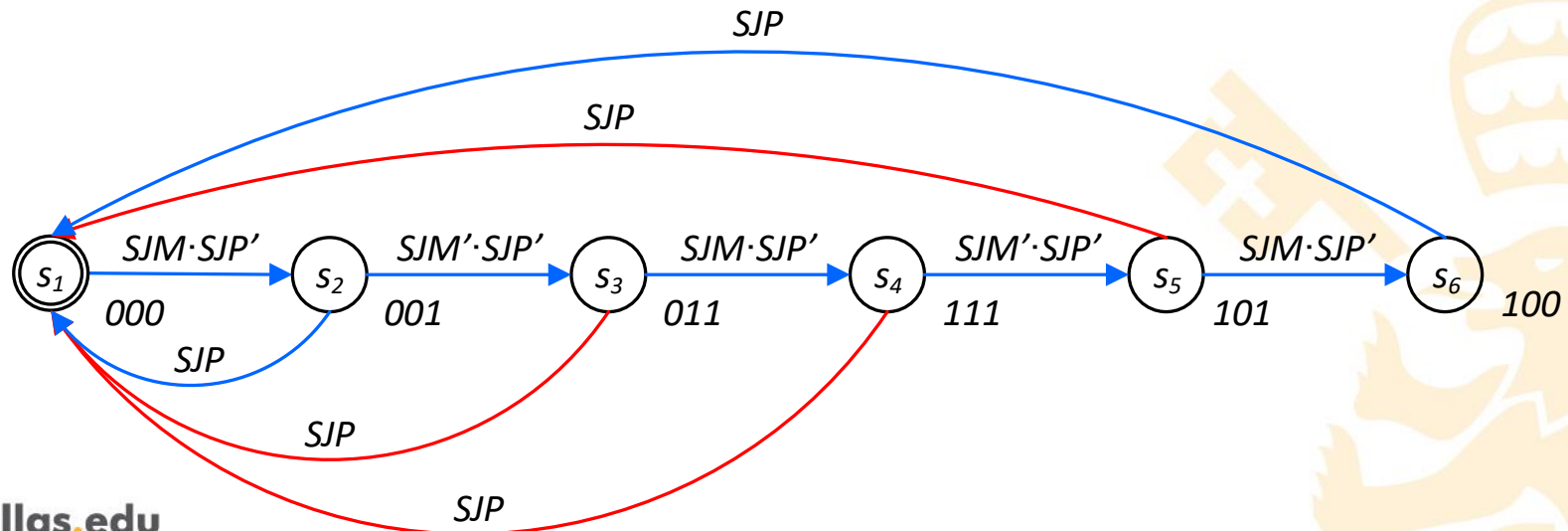
# Ejemplo: arranque de tres bombas con un pulsador (II)

- **Tercer paso: rediseñar máquina de estados si es necesario**
  - Corregir errores si los hay
  - Añadir nuevos estados y transiciones para cumplir los requisitos



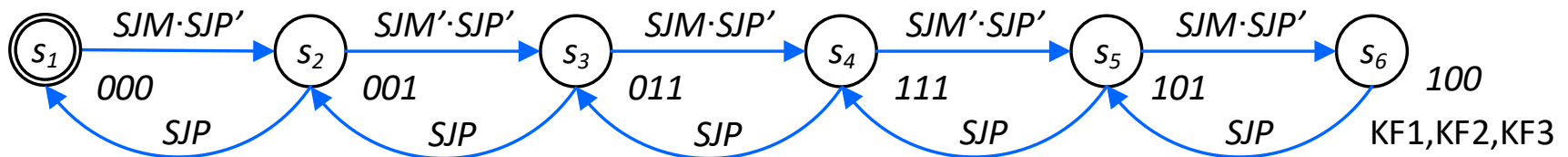
# Ejemplo: arranque de tres bombas con un pulsador (II)

- Cuarto paso: codificación en código Grey, comprobación de transiciones y rediseñar si es necesario la máquina
  - 6 estados: 3 variables de estado
    - $m_1, m_2, m_3$
  - Junto a cada estado se indica la codificación en las 3 variables
  - Comprobar que en todas las transiciones sólo cambia 1 bit
    - Transiciones en rojo son incorrectas



# Ejemplo: arranque de tres bombas con un pulsador (III)

- Cuarto paso: rediseño de la máquina de estados



- Quinto paso: obtener las funciones de paro y de marcha de los relés

- Cada variable de estado representa un relé:  $KFi = m_i$
- Cada transición indica que un relé se activa o desactiva
  - $KF1\_M = (s_3 \rightarrow s_4)SJM \cdot SJP'$
  - $KF1\_P = (s_4 \rightarrow s_3)SJP$
  - $KF2\_M = (s_2 \rightarrow s_3)SJM' \cdot SJP' + (s_5 \rightarrow s_4)SJP$
  - $KF2\_P = (s_3 \rightarrow s_2)SJP + (s_4 \rightarrow s_5)SJM' \cdot SJP'$
  - $KF3\_M = (s_1 \rightarrow s_2)SJM \cdot SJP' + (s_6 \rightarrow s_5)SJP$
  - $KF3\_P = (s_2 \rightarrow s_1)SJP + (s_5 \rightarrow s_6)SJM \cdot SJP'$

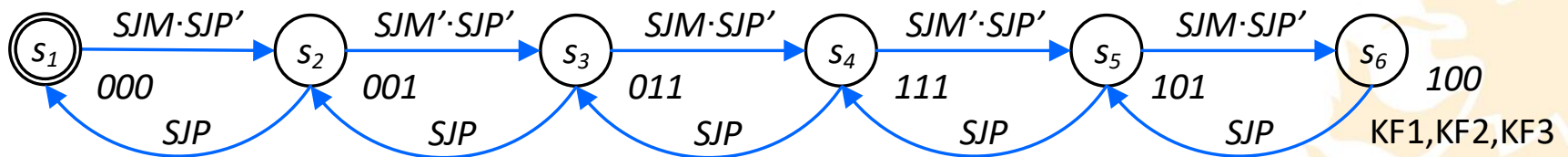
# Ejemplo: arranque de tres bombas con un pulsador (IV)

- Quinto paso: obtener las funciones de cada relé**

- $KF1\_M = (s_3 \rightarrow s_4)SJM \cdot SJP' = KF2 \cdot KF3 \cdot SJM \cdot SJP'$
- $KF1\_P = (s_4 \rightarrow s_3)SJP = KF2 \cdot KF3 \cdot SJP$
- $KF2\_M = KF1'KF3 \cdot SJM' \cdot SJP' + KF1 \cdot KF3 \cdot SJP$
- $KF2\_P = KF1'KF3 \cdot SJP + KF1 \cdot KF3 \cdot SJM' \cdot SJP'$
- $KF3\_M = KF1'KF2' \cdot SJM \cdot SJP' + KF1'KF2 \cdot SJP$
- $KF3\_P = KF1'KF2' \cdot SJP + KF1'KF2 \cdot SJM \cdot SJP'$
- $KF1 = (KF1 + KF1\_M)KF1\_P'$ ;  $KF2 = (KF2 \dots$

- Quinto paso: comprobar la viabilidad de la implementación**

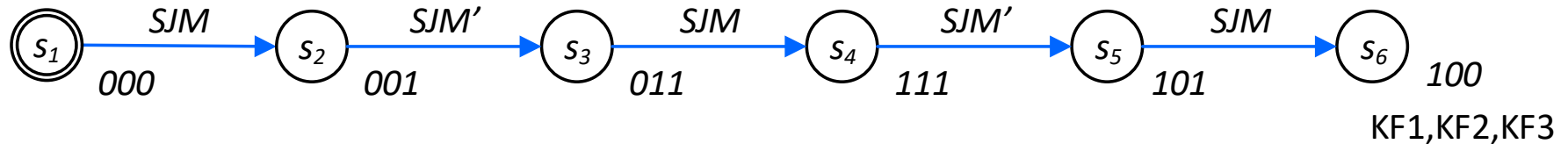
- Problema: el resultado es muy complejo. Nuevo rediseño





# Simplificación del resultado: posponer el diseño del paro

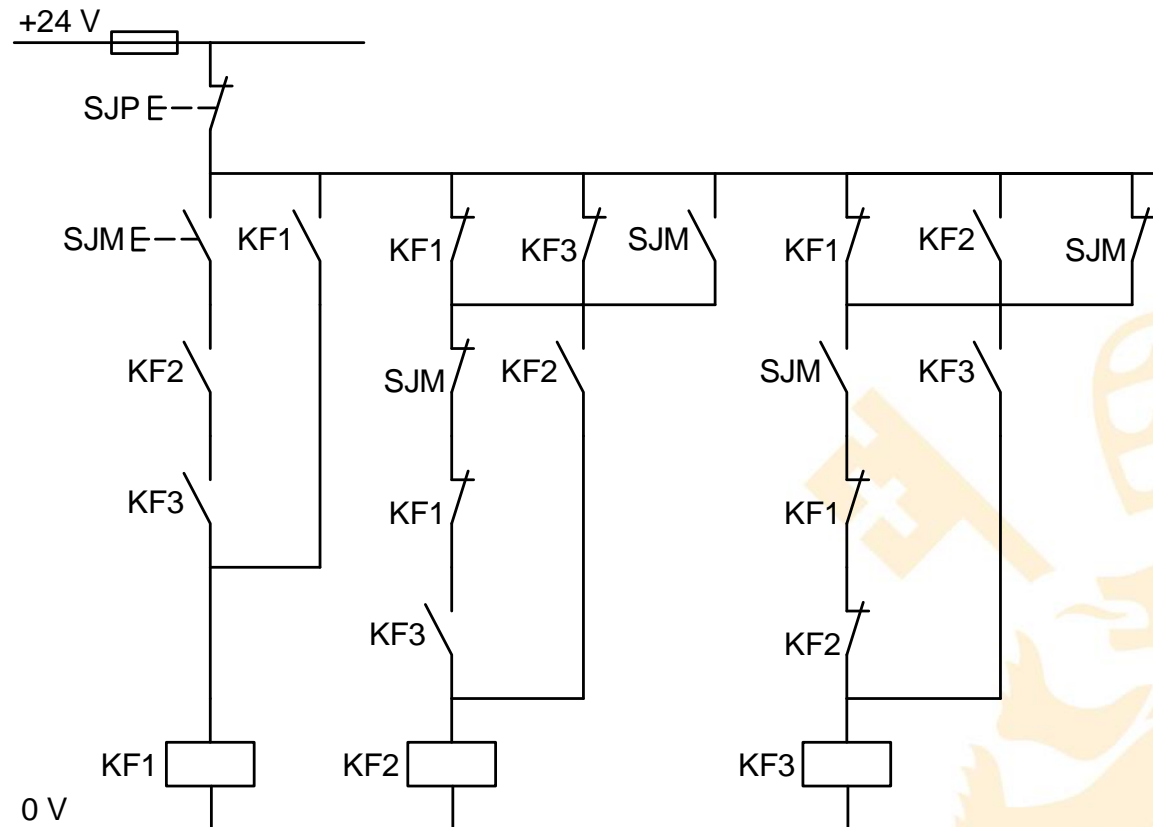
- Tratar el problema como si no hubiese paro



- $KF1\_M = (s_3 \rightarrow s_4)SJM = KF2 \cdot KF3 \cdot SJM$
- $KF1\_P$  no existe (el paro compartido se encargará de ello)
- $KF2\_M = (s_2 \rightarrow s_3)SJM' = KF1' \cdot KF3 \cdot SJM'$
- $KF2\_P = (s_4 \rightarrow s_5)SJM' = KF1 \cdot KF3 \cdot SJM'$
- $KF3\_M = (s_1 \rightarrow s_2)SJM = KF1' \cdot KF2' \cdot SJM$
- $KF3\_P = (s_5 \rightarrow s_6)SJM = KF1 \cdot KF2' \cdot SJM$
- **Añadir el paro: paro compartido**
  - Pulsador de paro en serie con la alimentación
  - La etapa inicial debe tener siempre los relés desenergizados

# Ejemplo: arranque de tres bombas con un pulsador (V)

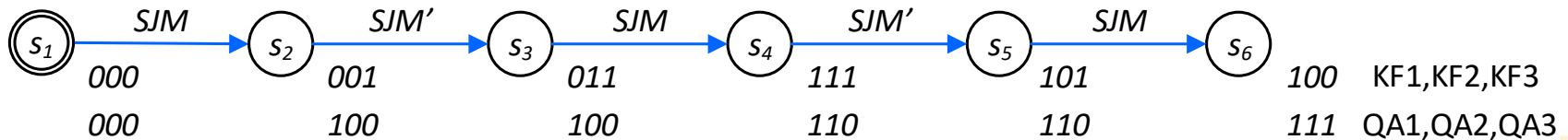
- Circuito parcial con la máquina de estados para ver el efecto del paro compartido



# Ejemplo: arranque de tres bombas con un pulsador (VI)

## • Sexto paso: definir las funciones de las variables de salida

- 3 variables de entrada: KF1, KF2, KF3
  - 2 combinaciones no se dan (010, 110)
- 3 variables de salida: QA1, QA2, QA3



## • Simplificación por Karnaugh

QA1

		KF2, KF3			
		00	01	11	10
KF1	0	0	1	1	X
	1	1	1	1	X

QA2

		KF2, KF3			
		00	01	11	10
KF1	0	0	0	0	X
	1	1	1	1	X

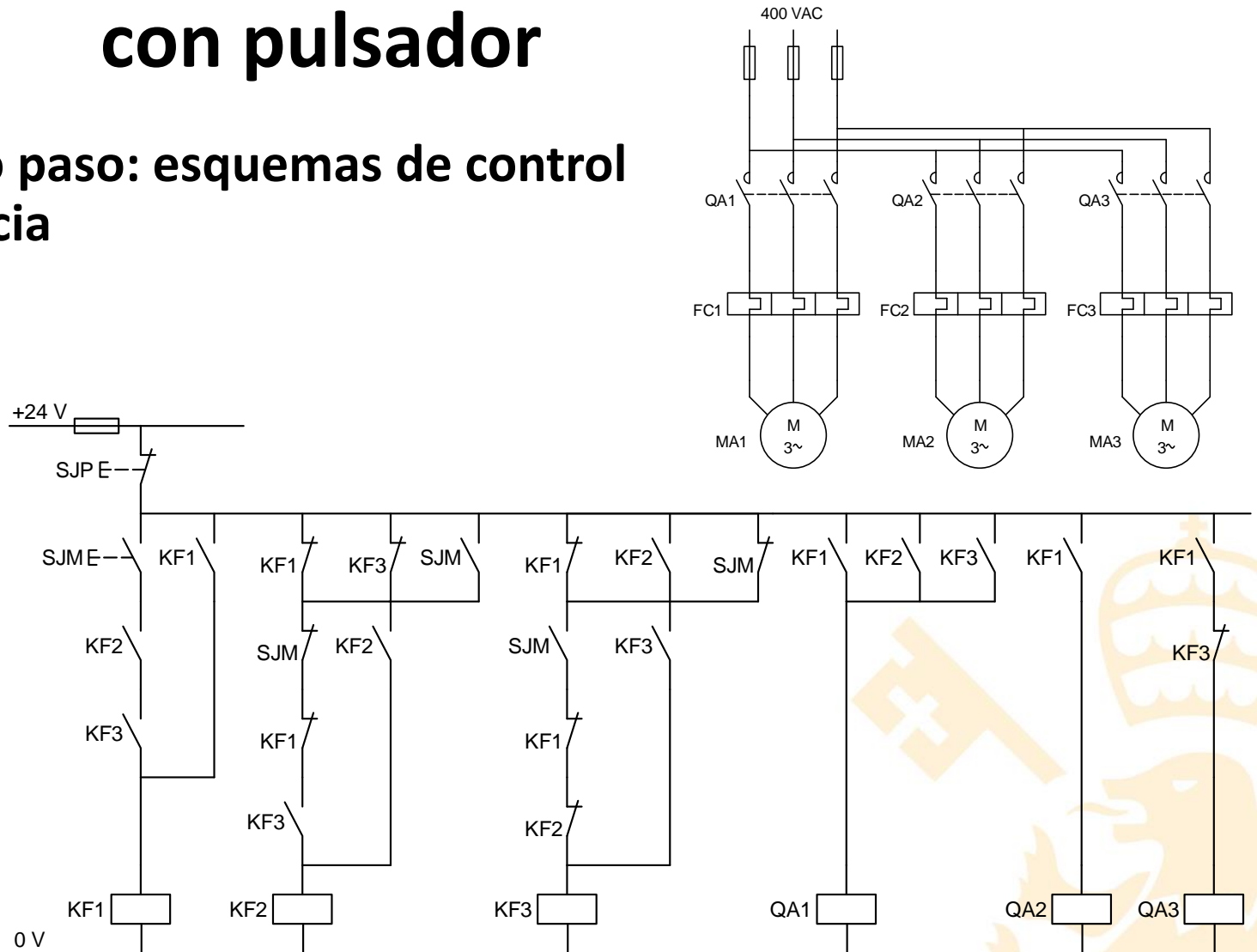
QA3

		KF2, KF3			
		00	01	11	10
KF1	0	0	0	0	X
	1	1	0	0	X

- $QA1 = KF1 + KF2 + KF3$ ;  $QA2 = KF1$ ;  $QA3 = KF1 \cdot KF3'$

# Circuito arranque de 3 bombas con pulsador

- Séptimo paso: esquemas de control y potencia



# Temporización

- **Dos dispositivos típicos**

- Relé temporizador

- Permite programar el tiempo que media entre la activación de la bobina y el cambio de estado de un contacto asociado
    - Flexibilidad para establecer el tiempo
    - Contactos temporizados y sin temporizar

- Contacto temporizado

- Módulo de contactos que permite programar un retardo entre la activación/desactivación de la bobina del relé donde va montado y el cambio del estado de sus contactos.
    - Temporización simple
      - Ejemplo: 0.1 a 30 s

- **Uso**

- Arrancadores estrella triángulo
  - Arranque de varias bombas en cascada con retardo entre ellas



# Circuito con temporización simple

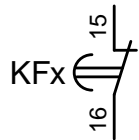
## • Símbolo

### • Contactos temporizados

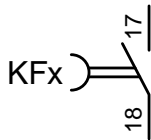
Contacto con  
cierre retardado



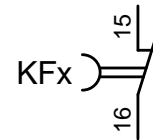
Contacto con  
apertura retardado



Contacto con  
apertura retardado

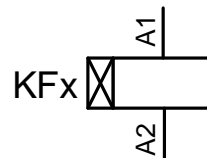


Contacto con  
cierre retardado



### • Relé temporizador

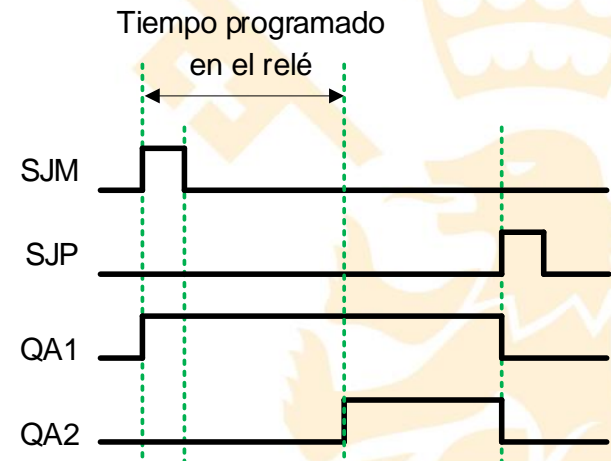
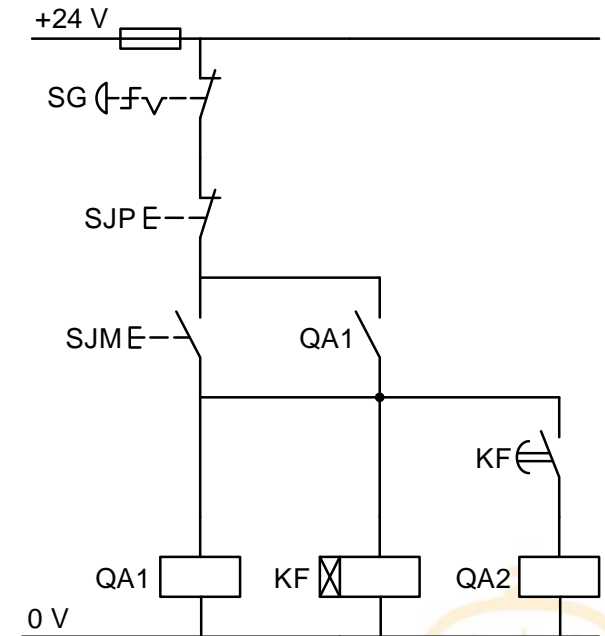
Relé temporizador



- Además se indica los contactos que están temporizados

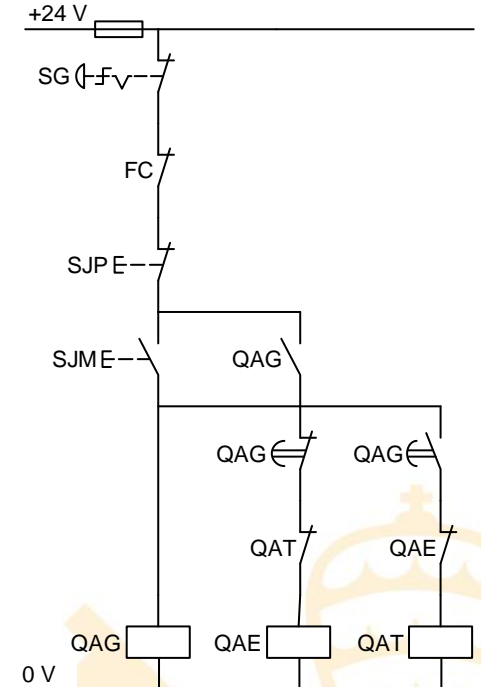
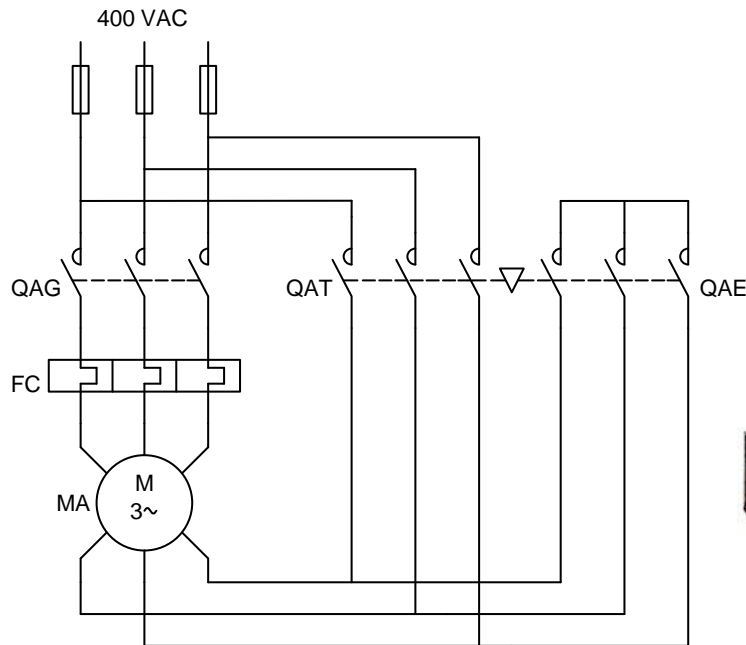
## • Ejemplo: arranque retardado de un segundo motor

- Evitar que coincida el arranque directo de dos motores



# Ejemplo: arranque estrella/triángulo temporizado

- Usa contactos temporizados montados sobre QAG
- Cada fabricante realiza variaciones sobre el circuito mostrado
  - Se tiende a sustituirlos por arrancadores y variadores de velocidad electrónicos



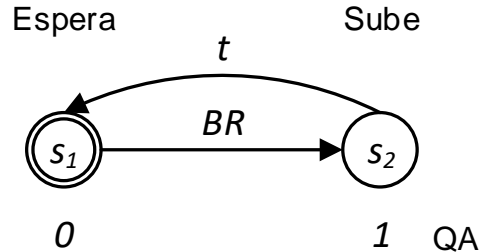


# Ejemplo: Escaleras mecánicas

- **Requisitos:** cada vez que se acerca alguien a la escalera se pone en marcha, si no lo estaba. Si pasan más de 10 segundos sin que nadie se acerque, se para. Hay un sensor fotoeléctrico BR en la base de la escalera

## • Solución: maestro/esclavo

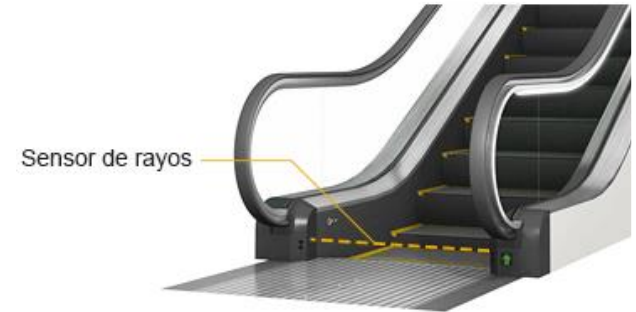
- Circuito maestro de marcha/paro general
- Circuito esclavo de marcha/paro del motor



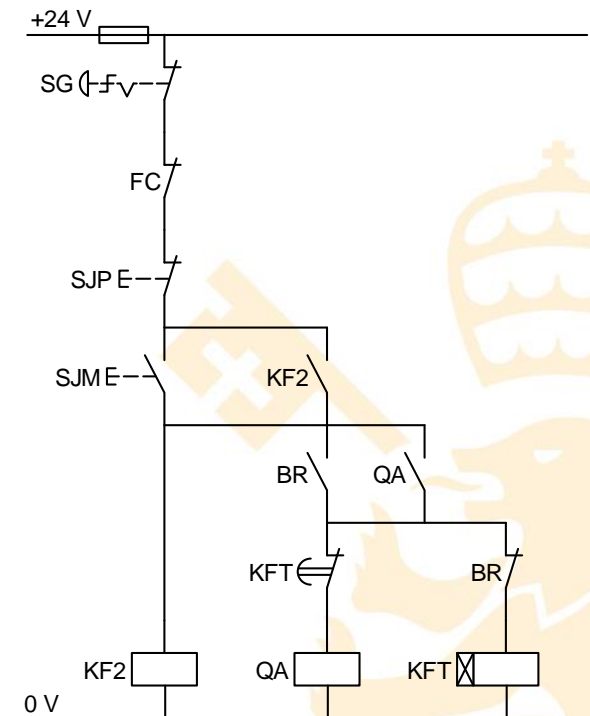
QA\_M=BR

QA\_P=t

- La variable  $t$  representa un relé temporizador que hay llegado al final de cuenta
  - Dos variables: KFT y  $t$
- Lógica del temporizador:  $KFT = QA \cdot BR'$



Fuente: Mitsubishi electric



# Ventajas y desventajas de los automatismos cableados

- **Ventajas**

- Simplicidad de los circuitos
- Bajo coste
- Fiables
- Facilidad para el mantenimiento
  - Típico fallo: contactos pegados, nunca se cierra el contacto
  - No necesita personal con alta cualificación
- No hay problema de ataques informáticos

- **Desventajas**

- Tamaño
- Consumo
- Sólo automatismos sencillos
  - Dificultad para realizar cambios o ampliaciones
  - Complejidad del cableado
- Imposible exportar directamente datos a la nube

# Resumen

- Dispositivos para implementar un sistema de control según tecnología cableada y programada
- Dibujo de esquemas normalizados: IEC 60617 e IEC 81346
- Estudio de elementos típicos de tecnología cableada: contacto, pulsador, conmutador, seta de emergencia, pilotos, final de carrera, sensor, relé, contactor
- Uso de sensores electrónicos
- Enclavamiento eléctrico
- Empresas en el sector de la automatización
- Errores graves al dibujar
- Topologías típicas con circuitos de marcha/paro
- Síntesis de sistemas de control secuencial utilizando codificación Grey (**sólo si da tiempo**)
- Automatismos con relé temporizador

# Ejemplos de preguntas

- ¿Qué dispositivos típicamente se utilizan para implementar las diferentes funciones de un sistema de control según tecnología cableada y programada?
- Diferencias entre contacto NO y NC
- Diferencias entre la conexión de un final de carrera electromecánico y un sensor electrónico que haga la misma función
- Explicar las funciones de los diferentes tipos de enclavamiento
- Diseño de un automatismo cableado combinacional
- Diseño de un automatismo cableado secuencial basada en patrones de marcha/paro
- Diseño de un automatismo cableado secuencial genérico (**sólo si se ha visto**)