

# APUNTES DE AUTOMATISMOS.

## Parte 2. Automatismos programados.

Ponteareas. Curso 2015-2016

Versión 1.0

Anexos a automatismos cableados.

Automatismos programados.

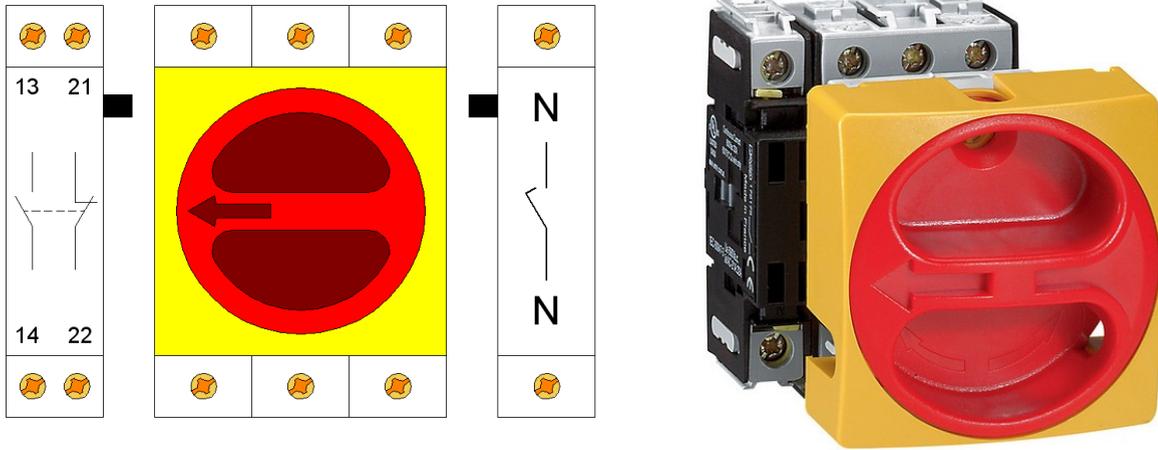
Seguridad en maquinaria.

Compensación de energía reactiva.

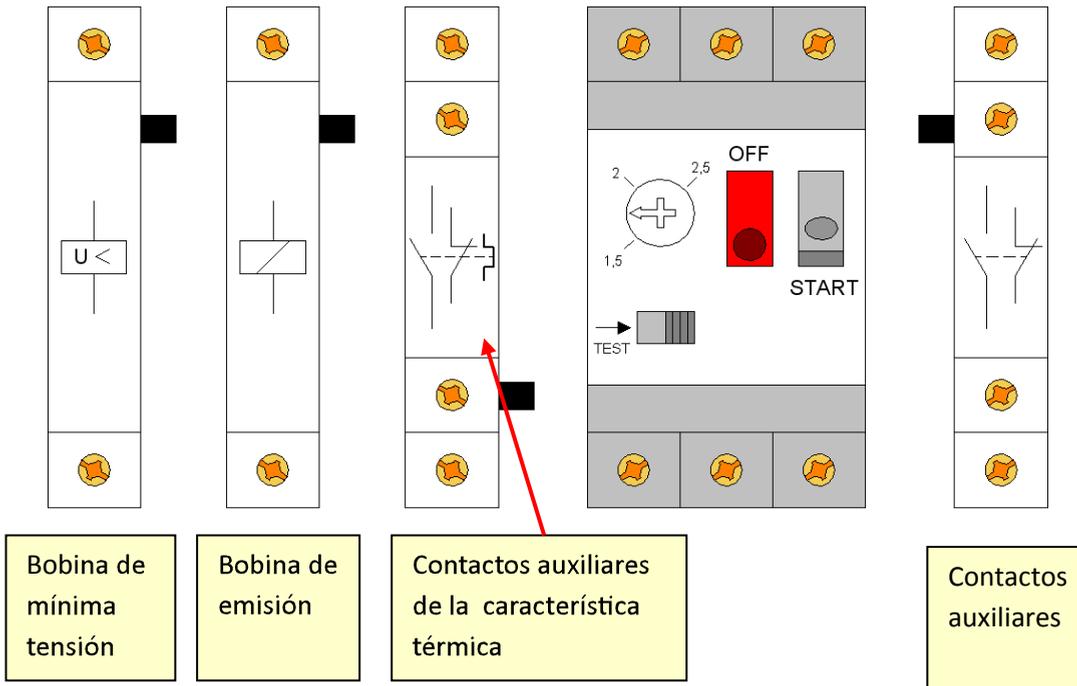


ANEXOS.

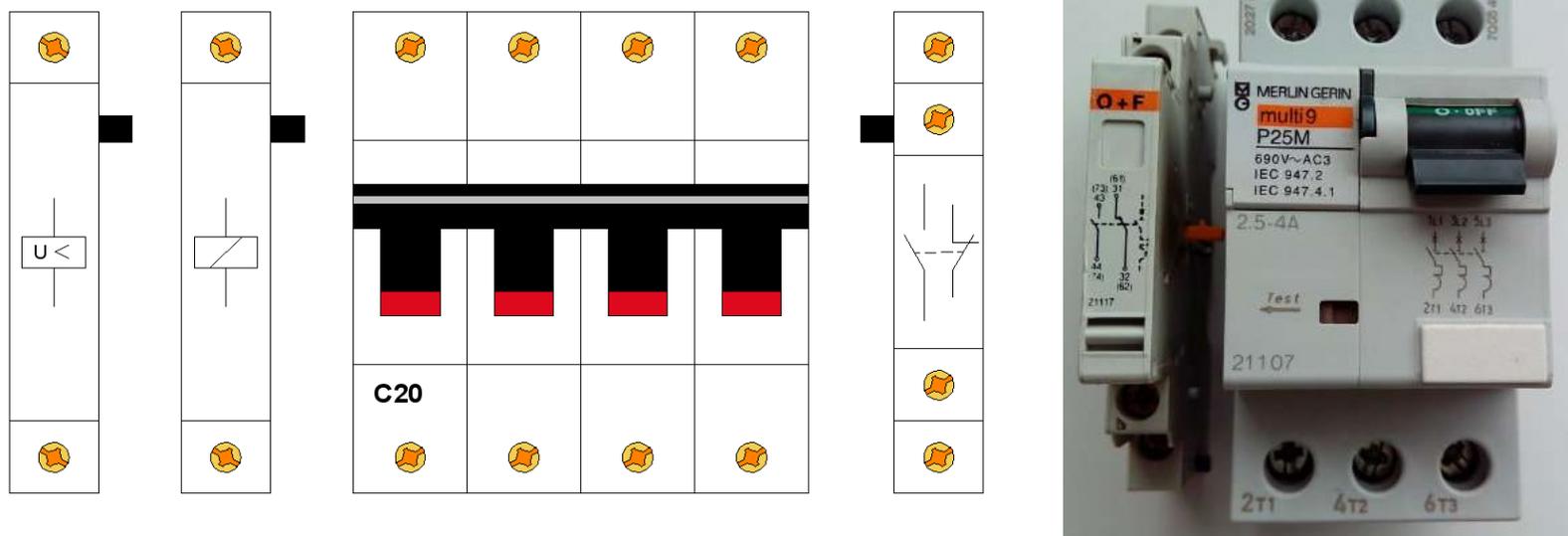
Interruptores seccionadores.



Guardamotores.

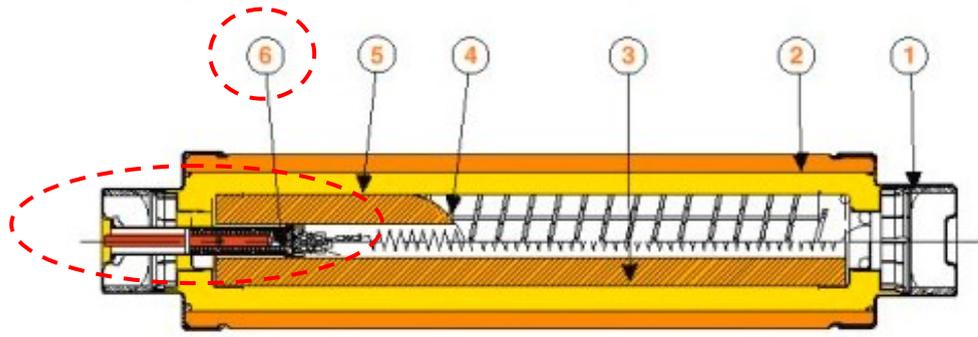


PIA's. (Pequeños Interruptores Automáticos).



## Fusibles.

El percutor térmico es el dispositivo mecánico que indica la actuación del fusible. Suministra la energía necesaria para accionar un aparato de corte combinado. El percutor está unido a un hilo resistente que después de la fusión del elemento fusible, funde también y libera el percutor.



- 1 Caperuza de contacto
- 2 Tubo exterior
- 3 Núcleo
- 4 Elemento fusible
- 5 Arena de extinción
- 6 Percutor térmico

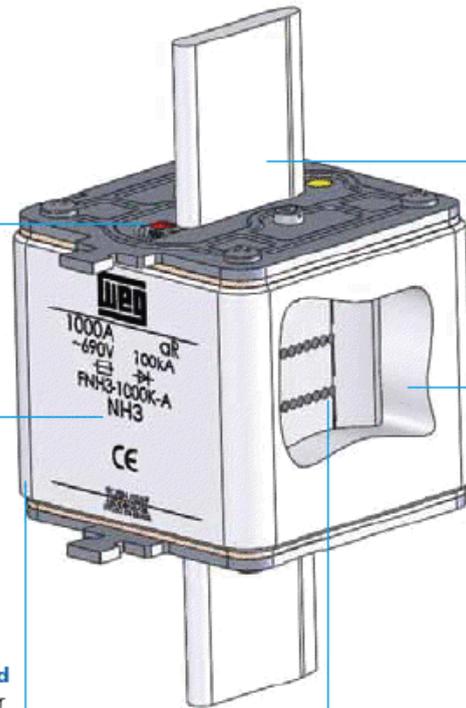


### Informaciones del fusible

Valor de corriente, clase, tensión, capacidad de interrupción, referencia, tamaño, norma de aplicación y certificación

### Cuerpo cerámico de alta calidad

Resiste la alta presión generada por un cortocircuito



### Rellenos con arena de cuarzo impregnada

Extinguen el arco de cortocircuito con valores de  $I^2t$  reducidos

### Elemento del fusible en plata

Para pequeñas pérdidas y una rápida fusión



## Contadores.

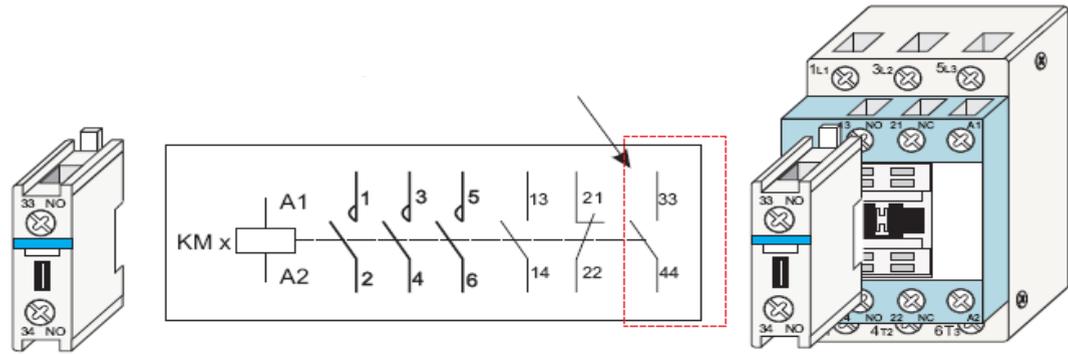


Figura 22.

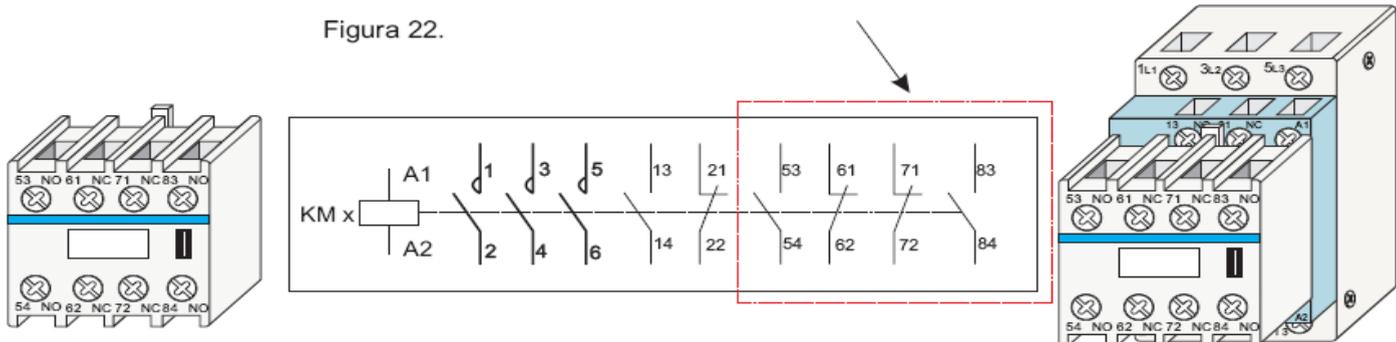


Figura 23.

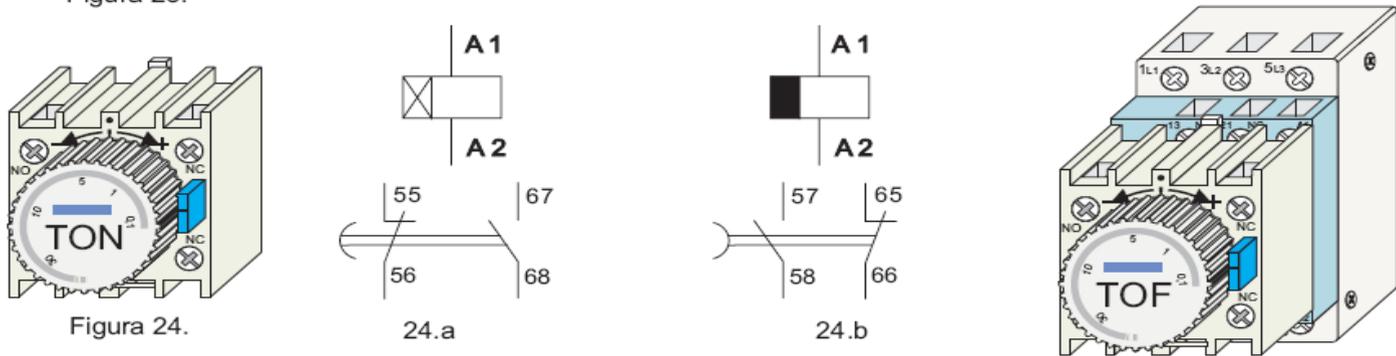


Figura 24.

24.a

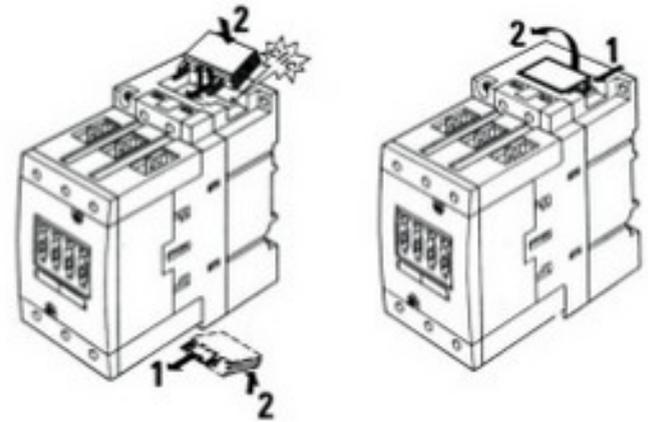
24.b

## Supresor de picos de sobretensiones.

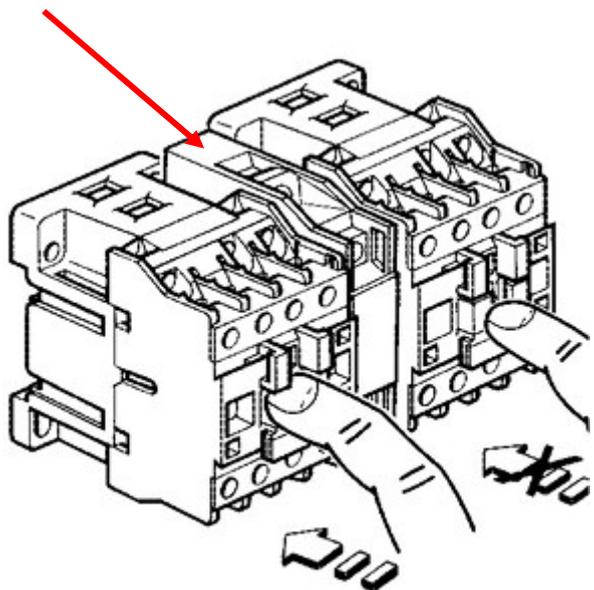
Para evitar sobretensiones en los contactos de la aparamenta (sobretudo en autómatas programables) en el momento de la desconexión de las bobinas.

### Montaje

### Desmontaje

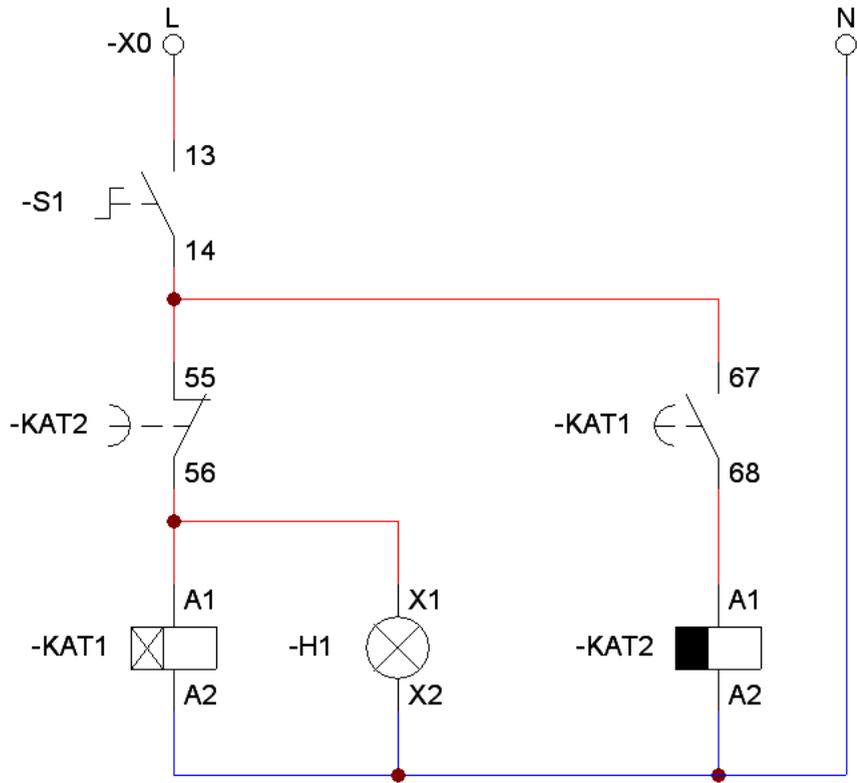


## Enclavamiento mecánico.

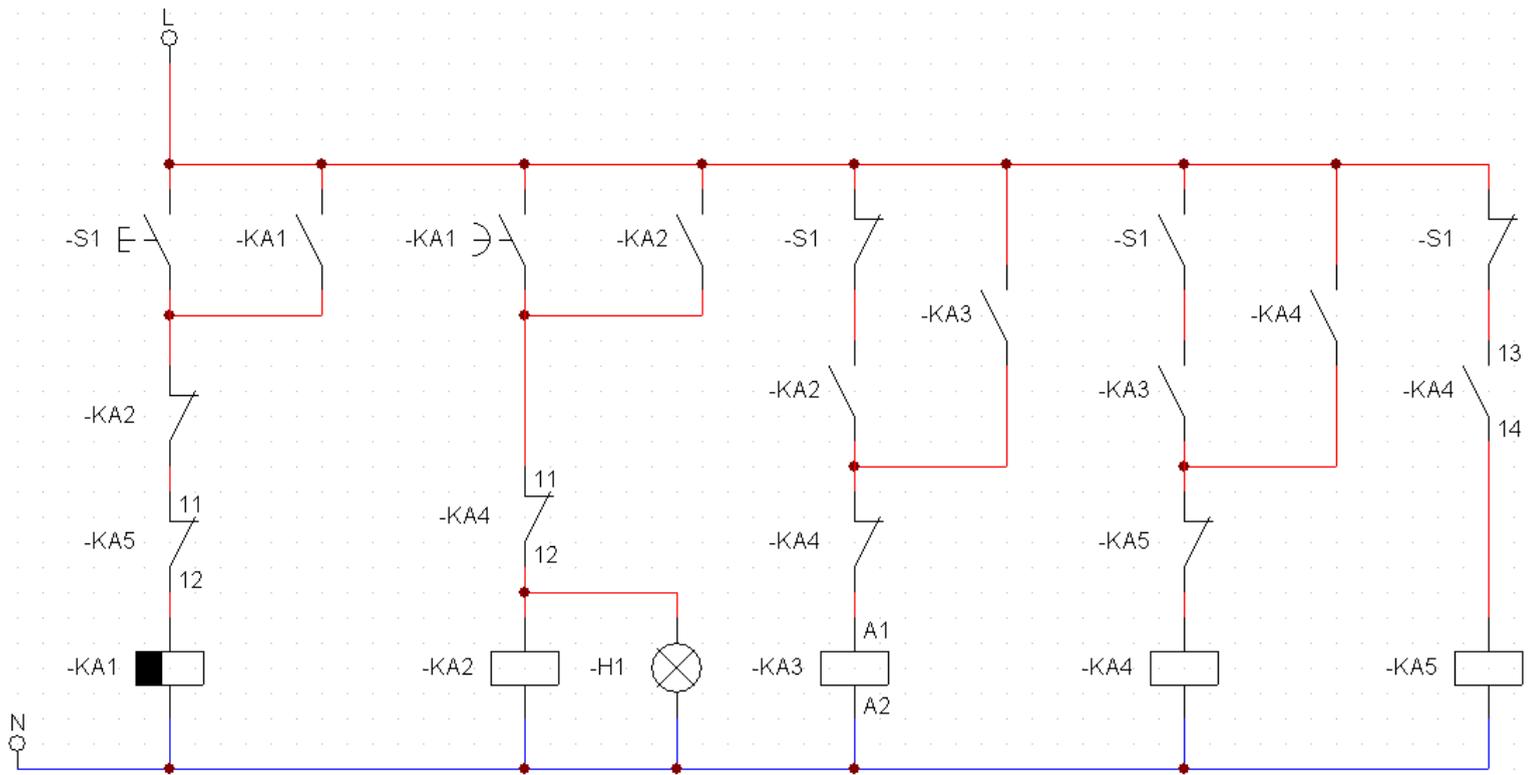


### Automatismos cableados singulares.

Activación y desactivación de una lámpara cada x segundos.



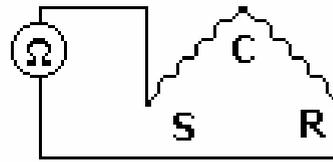
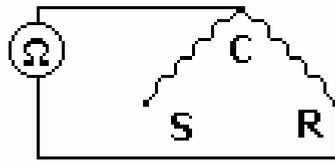
### Telerruptor mediante pulsador.



## Identificación de devanados en motores monofásicos de compresores herméticos.

Para identificar los devanados de un motor monofásico de un compresor frigorífico hermético hay que medir la resistencia entre sus terminales.

- La resistencia menor se corresponde con la del devanado de marcha
- La resistencia intermedia se corresponde con el devanado de arranque
- La resistencia mayor se corresponde entre los terminales de marcha y de arranque.



## Comprobación rápida de los bobinados mediante un multímetro.

### Continuidad del devanado de marcha.

Verificar continuidad entre el punto común y punto de marcha (muestra el valor de la resistencia de la bobina de marcha).

### Continuidad del devanado de arranque.

Verificar continuidad entre el punto de arranque y punto común (muestra el valor de la resistencia de arranque)

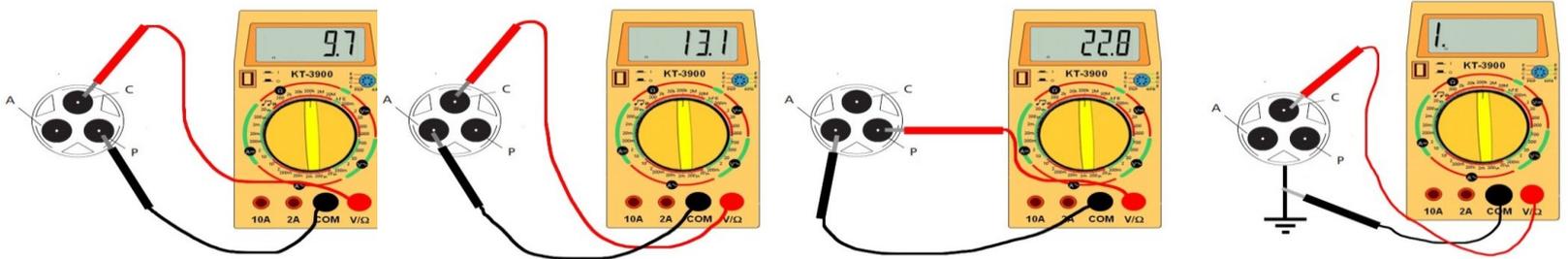
### Continuidad entre el terminal de arranque y marcha.

Verificar continuidad entre el punto de arranque y el punto de marcha (muestra la suma de la resistencia de la bobina de marcha y la resistencia de la bobina de arranque).

### Presencia de fugas de corriente a tierra.

Verificar si cada punto (común, marcha y arranque) está en circuito abierto con tierra o la carcasa exterior del motor-compresor.

**NO DEBE** existir continuidad eléctrica entre la carcasa o tierra con ninguno de los puntos de conexión de alimentación a los bobinados.



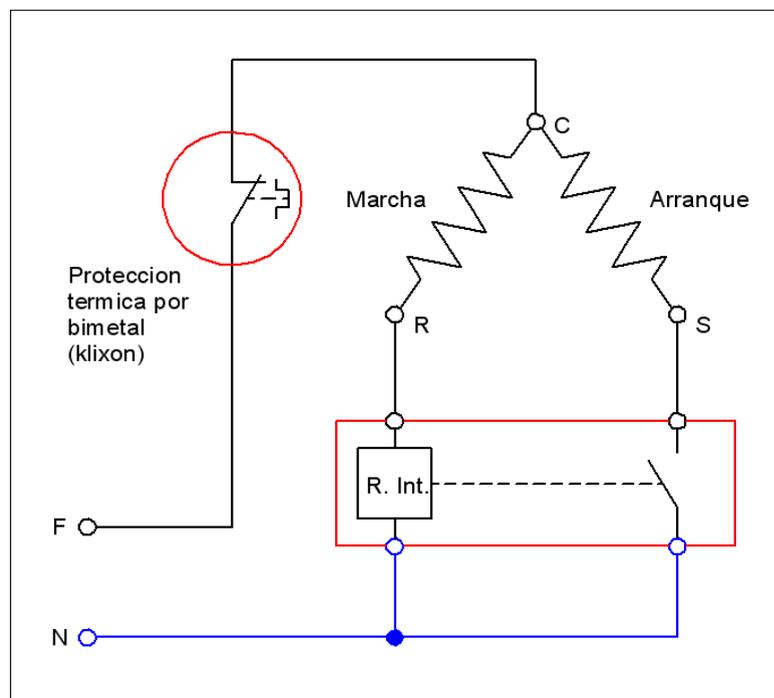
## Tipos de arranques de motores monofásicos de compresores herméticos.

Bajo par de arranque (LST, **Low** Starter Torque). Para sistemas en los que se iguala la presión de alta y de baja con el tiempo (**sistemas con capilar**).

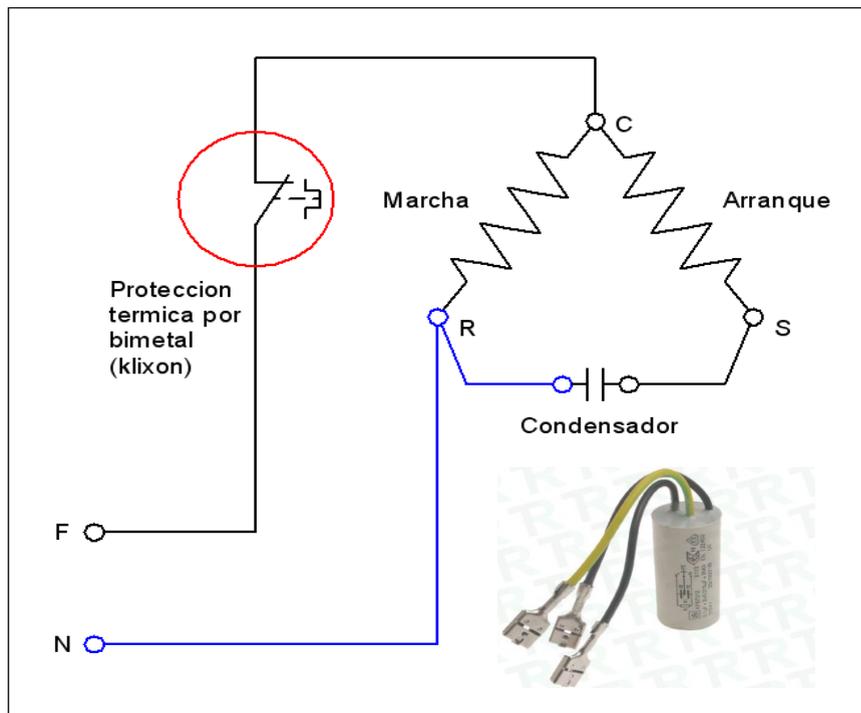
RSIR (Resistor Start Induction Run, Arranque resistivo, marcha inductiva). Arranque con relé



Klixon

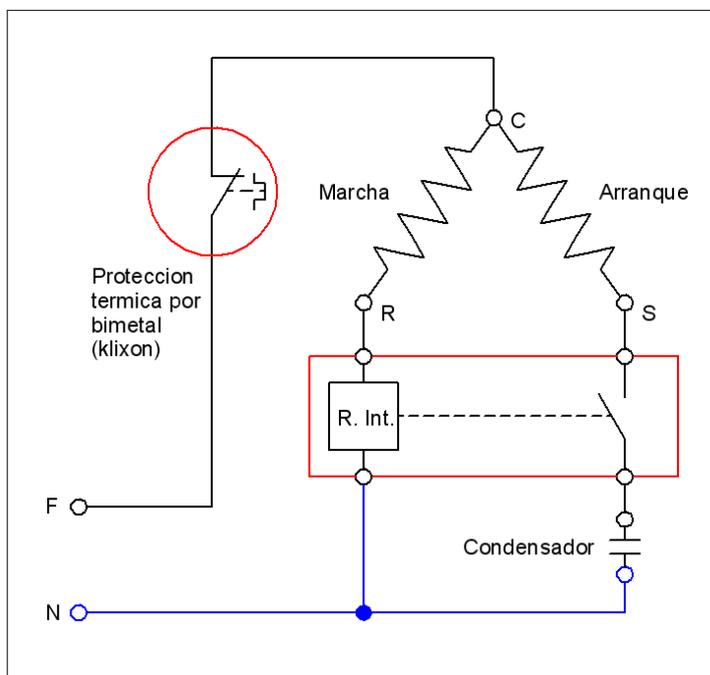


PSC (Permanent Split Capacitor., condensador siempre intercalado).

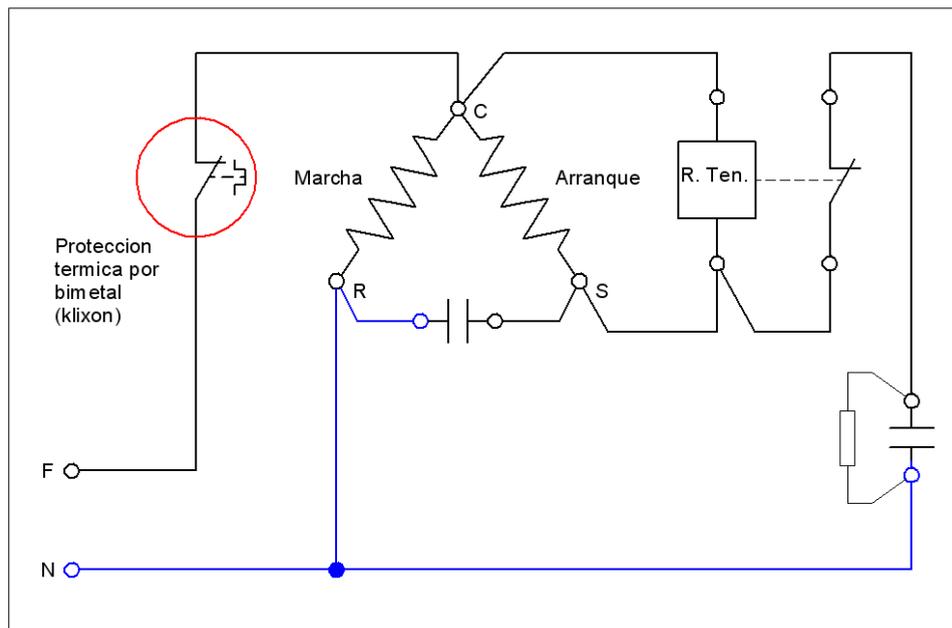


Con alto par de arranque (HST, **H**ight **S**tarter **T**orque). Para sistemas en los que no se iguala la presión de alta y de baja con el tiempo (**sistemas con válvula de expansión**).

CSIR (Capacitor Start Induction Run; arranque capacitivo, marcha inductiva). Arranque con relé de corriente y



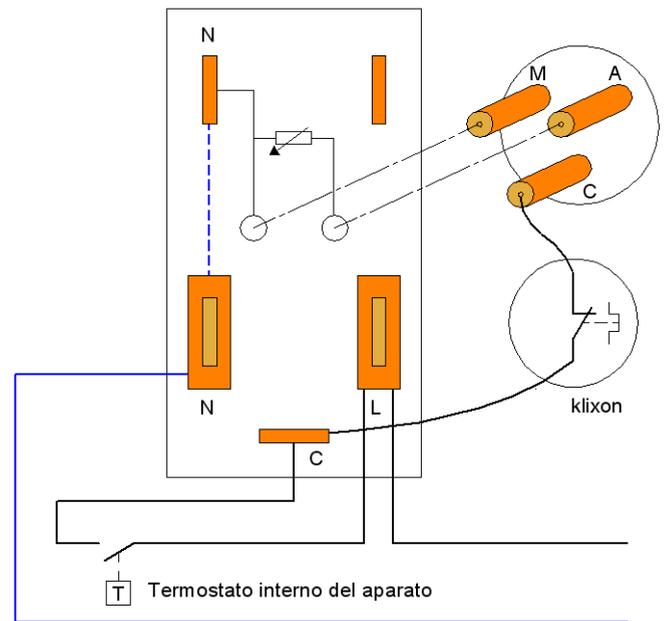
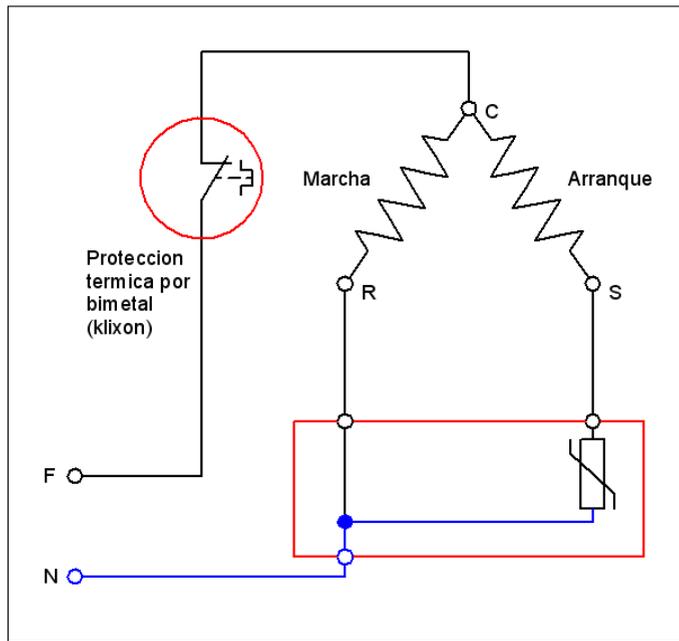
CSR (Capacitor Start Run; Arranque con relé de tensión).



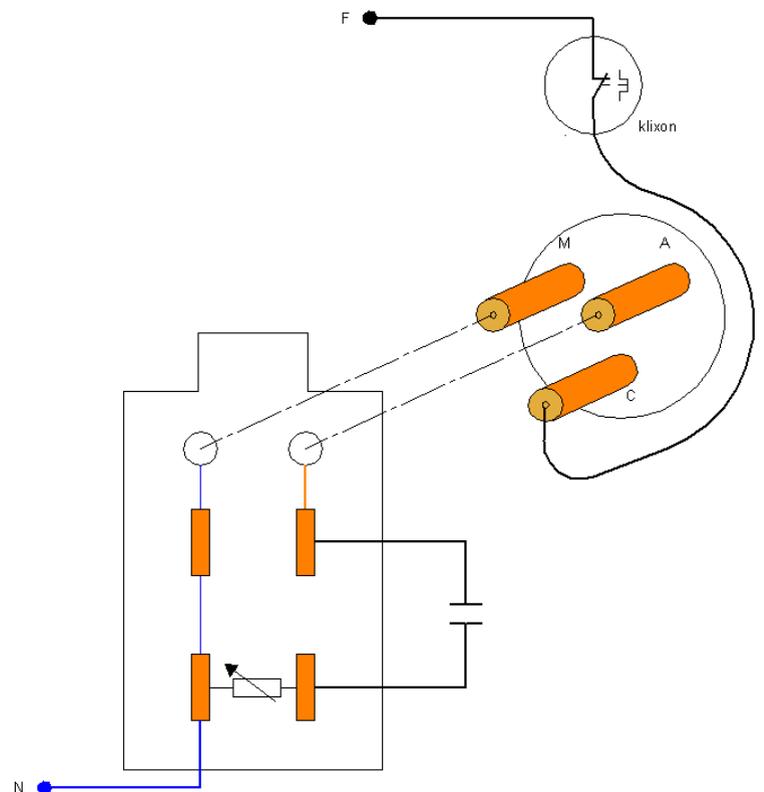
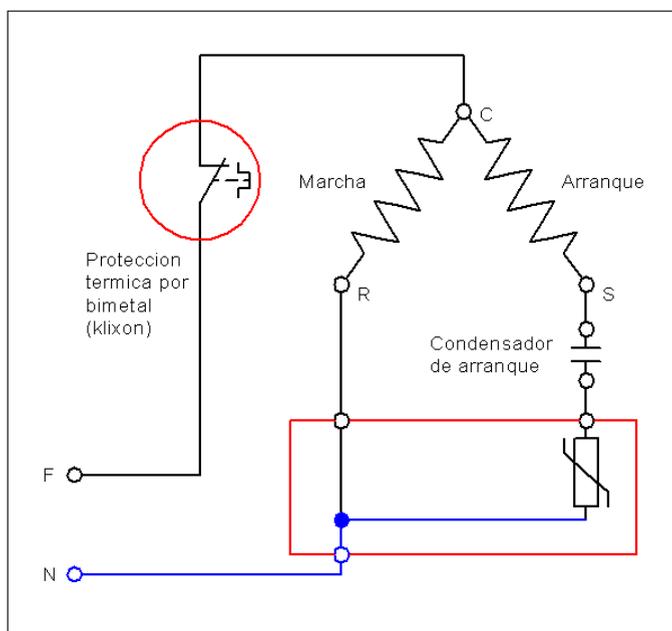
## Arranque de compresores herméticos con resistencias PTC.

El relé PTC usa un termistor de coeficiente de temperatura positivo para sustituir del circuito la bobina de arranque. El termistor de coeficiente positivo es una resistencia que varía con la temperatura de forma que si la temperatura aumenta la resistencia del termistor aumenta y si la temperatura disminuye la resistencia del termistor disminuye. Un dispositivo de estado sólido PTC se coloca en serie con la bobina de arranque y generalmente posee una resistencia muy baja comportándose como una continuidad del conductor entre el cual se encuentra conectado. En este ejemplo del conexionado RSIR, en el momento del arranque del motor, cuando la corriente comienza a circular por la bobina de auxiliar o de arranque la corriente de arranque es muy alta y debido a ello la temperatura en la PTC sube rápidamente, mientras tanto la resistencia óhmica del relé PTC rápidamente comienza a subir a valores muy altos reduciendo drásticamente la corriente hacia la bobina de arranque, eliminando la alimentación eléctrica hacia dicha bobina comportándose así como prácticamente un contacto que ha pasado de estado cerrado a abierto. La corriente remanente que atraviesa al bobina de arranque es lo que mantiene caliente el PTC.

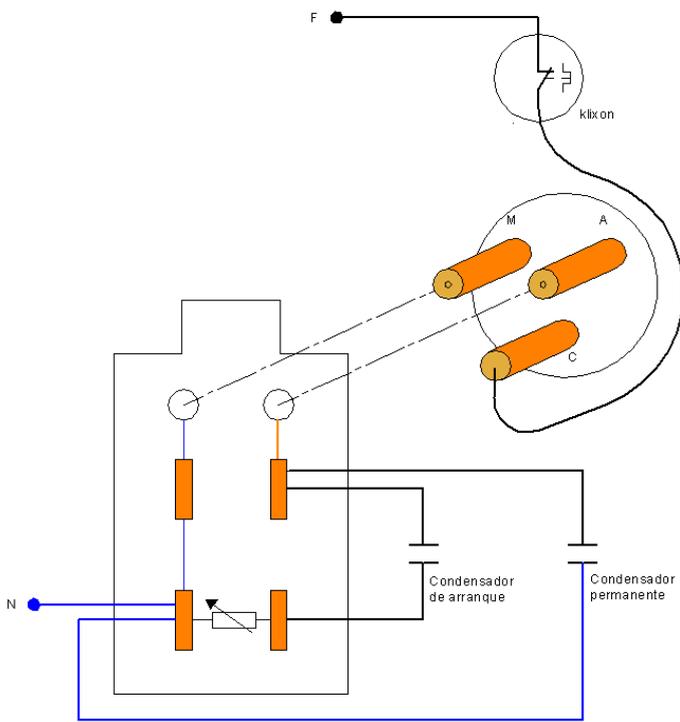
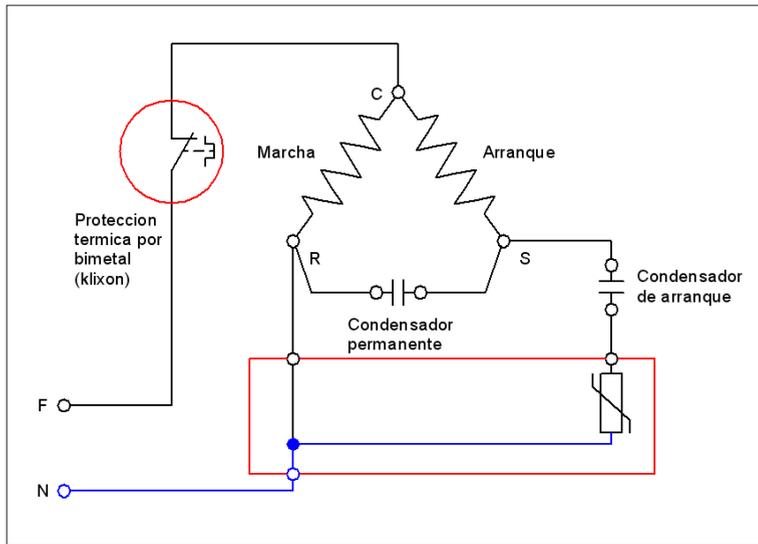
### RSIR.



### CSIR.

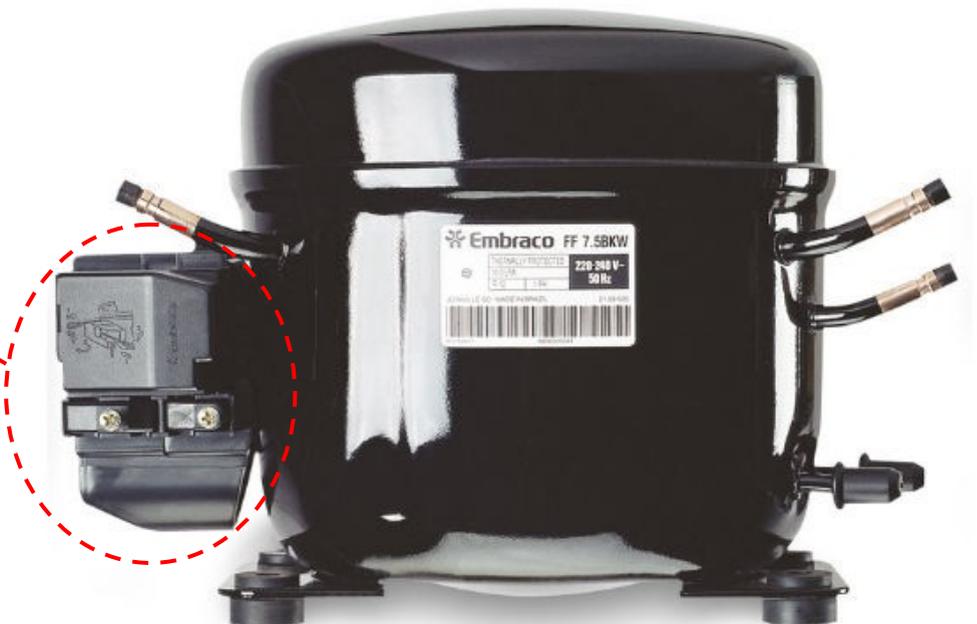


CSR.



Compresor hermético.

Caja de conexiones eléctricas



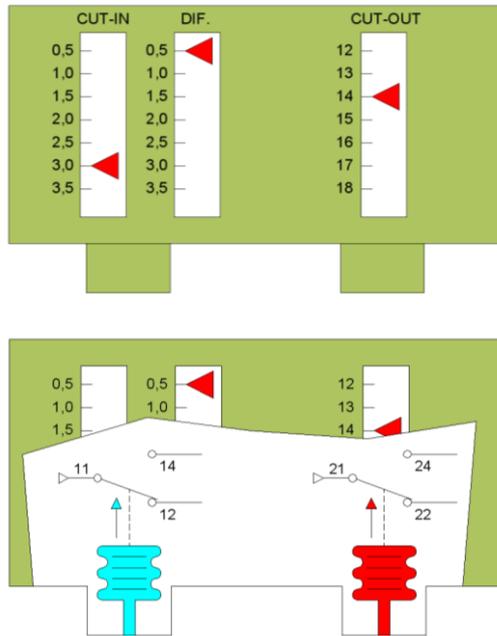
## Presostatos.

Traducen una determinada presión a una señal eléctrica todo-nada. Es decir, cuando en el sistema a controlar una presión llega a un determinado valor un fuelle se expande y hace que conmute un contacto eléctrico.

El **CUT-IN** es el valor al que se activa el compresor.

El **(CUT-IN) – DIF** es el valor al que se desactiva el compresor.

El **CUT-OUT** es el valor al que se desactiva el sistema si es que existe una presión de alta excesiva.



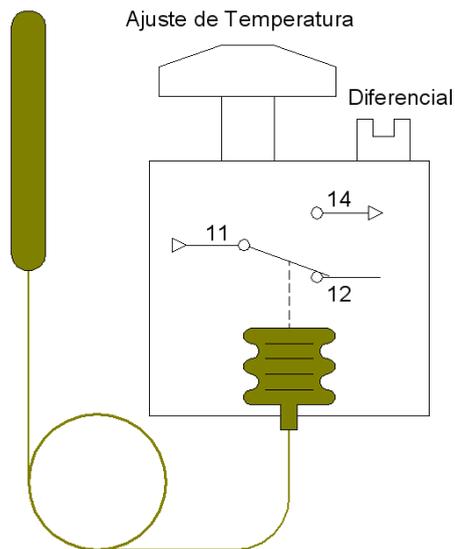
**Minipresostato.** Se colocan directamente en el tubo en el cual se quiere medir la presión. De él salen dos cables que van a un

## Termostatos.

Traducen una determinada temperatura a un valor todo-nada. Es decir, cuando en el sistema a controlar la temperatura alcanza un determinado valor, esto hace conmutar un contacto eléctrico.

El ajuste de temperatura es donde se selecciona el punto de consigna (**SET-POINT**). Es decir, en refrigeración la temperatura a la que se quiere que se desactive el sistema (que deje de producir frío)

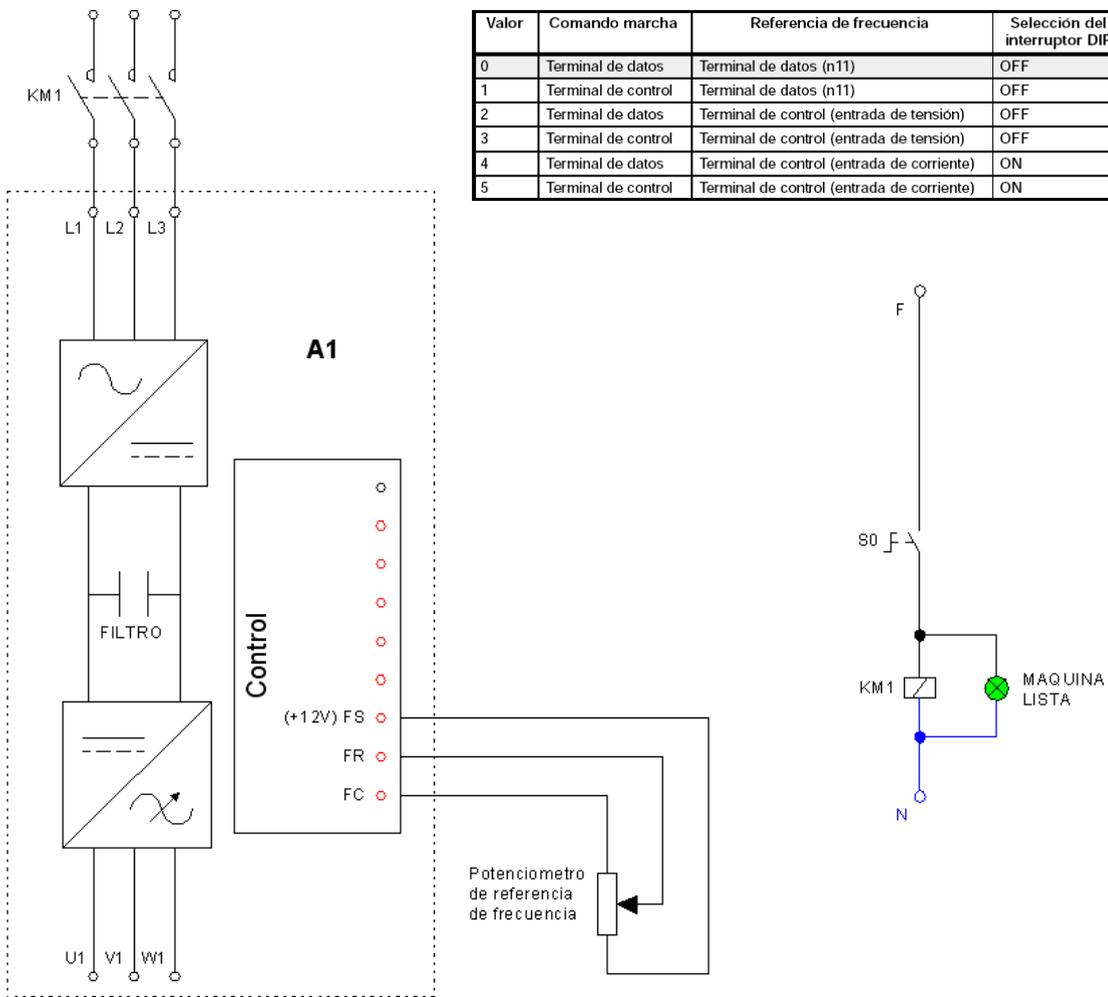
En el **Diferencial** se ajustan los grados de diferencia para que el sistema vuelva a conectarse (vuelva a producir frío).



Ejemplo de variación de velocidad con un variador Omron SYSDRIVE 3G3EV.

Ver explicación de parámetros en manual del aparato.

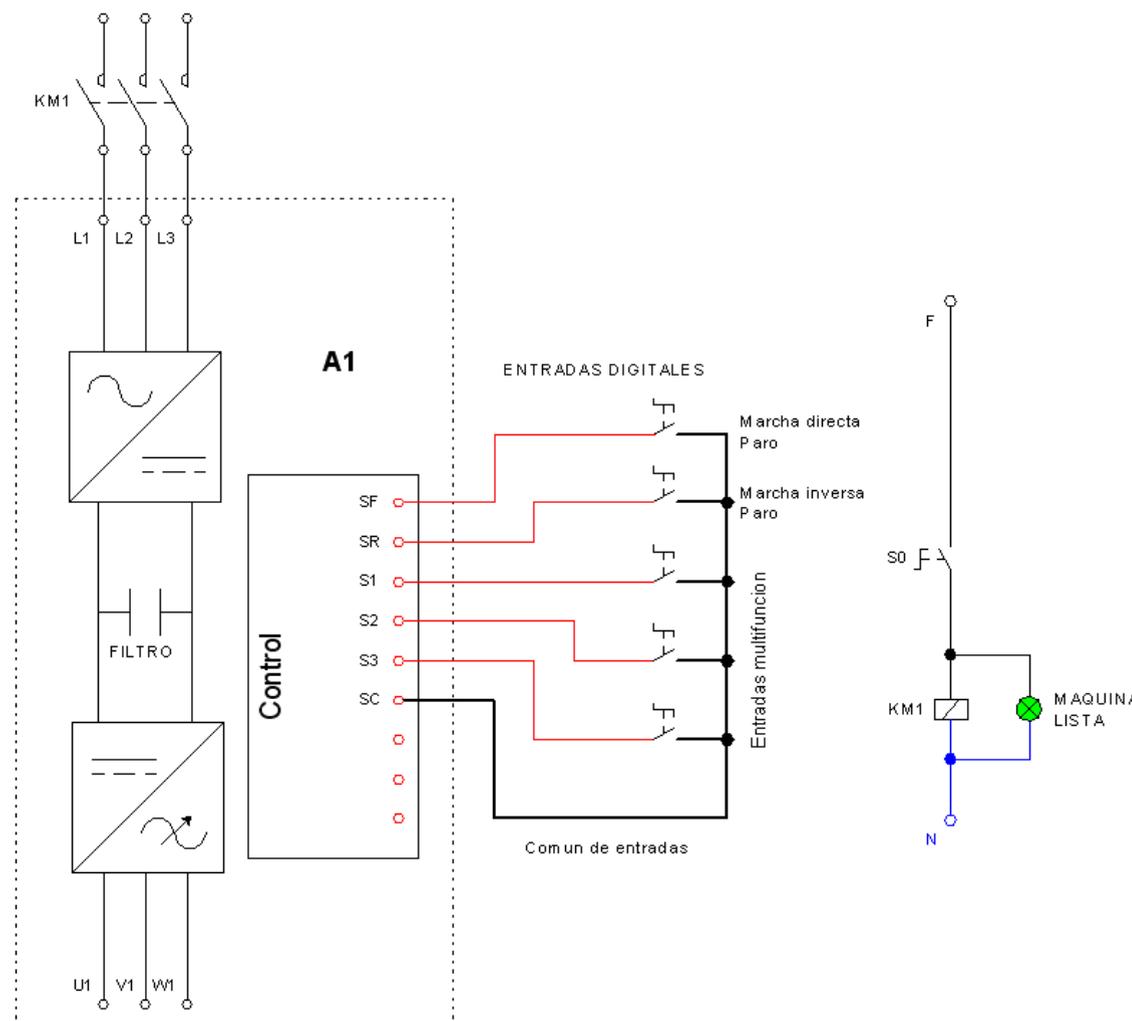
Control de un variador de velocidad mediante un potenciómetro.



| Valor | Comando marcha      | Referencia de frecuencia                   | Selección del interruptor DIP |
|-------|---------------------|--|-------------------------------|
| 0     | Terminal de datos   | Terminal de datos (n11)                    | OFF                           |
| 1     | Terminal de control | Terminal de datos (n11)                    | OFF                           |
| 2     | Terminal de datos   | Terminal de control (entrada de tensión)   | OFF                           |
| 3     | Terminal de control | Terminal de control (entrada de tensión)   | OFF                           |
| 4     | Terminal de datos   | Terminal de control (entrada de corriente) | ON                            |
| 5     | Terminal de control | Terminal de control (entrada de corriente) | ON                            |

|            |          |
|------------|----------|
| n01        | 1        |
| <b>n02</b> | <b>2</b> |
| n03        | 1        |
| n04        | For      |
| n05        | 1        |
| n09        | 0        |
| n20        | 5        |
| n21        | 5        |
| n24        | 50 Hz    |
| n25        | 400 V    |
| n26        | 50 Hz    |
| n31        | 2,2 A    |
| n32        | 0        |
| n41        | 60 Hz    |
| n42        | 10 Hz    |
| <b>n43</b> | <b>0</b> |
| n49        | 0,5 seg. |
| n56        | 30 Hz    |
| 59         | 3 Hz     |

Control de varios escalones de velocidad mediante interruptores (señales digitales).



|            |              |
|------------|--------------|
| n01        | 1            |
| <b>n02</b> | <b>3</b>     |
| n03        | 1            |
| n04        | For          |
| n05        | 1            |
| <b>n06</b> | <b>4</b>     |
| <b>n07</b> | <b>4</b>     |
| <b>n08</b> | <b>14</b>    |
| n09        | 0            |
| <b>n11</b> | <b>25 Hz</b> |
| <b>n12</b> | <b>10 Hz</b> |
| <b>n13</b> | <b>40 Hz</b> |
| n20        | 5            |
| n21        | 5            |
| n24        | 50 Hz        |
| n25        | 400 V        |
| n26        | 50 Hz        |
| n31        | 2,2 A        |
| n32        | 0            |
| n41        | 60 Hz        |
| n42        | 10 Hz        |
| <b>n43</b> | <b>1</b>     |
| n49        | 0,5 seg.     |
| n56        | 30 Hz        |
| 59         | 3 Hz         |

Lista de parámetros del Omron SYSDRIVE 3G3EV.

| No. de constante | Indicador   | Descripción  | Rango de selección | Selección inicial |
|------------------|-------------|--|--------------------|-------------------|
| n01 (1)(2)       |             | Inhibir escritura de constante/inicialización de constante | 0, 1, 8, 9         | 1                 |
| n02 (1)(2)       | <b>MODE</b> | Selección de modo de operación                             | 0 a 5              | 0                 |
| n03 (2)          |             | Selección de modo de interrupción                          | 0, 1               | 0                 |
| n04 (1)(2)       | <b>F/R</b>  | Selección de marcha directa/inversa                        | Directa, Inversa   | Directa           |
| n05              |             | Selección de inhibir marcha inversa                        | 0, 1               | 0                 |
| n06 (1)(2)       |             | Selección de entrada multifunción 1 (S1)                   | 0 a 14             | 1                 |
| n07 (2)          |             | Selección de entrada multifunción 2 (S2)                   | 0 a 14             | 2                 |
| n08 (2)          |             | Selección de entrada multifunción 3 (S3)                   | 0 a 15             | 4                 |
| n09 (1)(2)       |             | Selección de salida multifunción 1 (MA y MB)               | 0 a 10             | 1                 |
| n10 (2)          |             | Selección de salida multifunción 2 (PA)                    | 0 a 10             | 0                 |

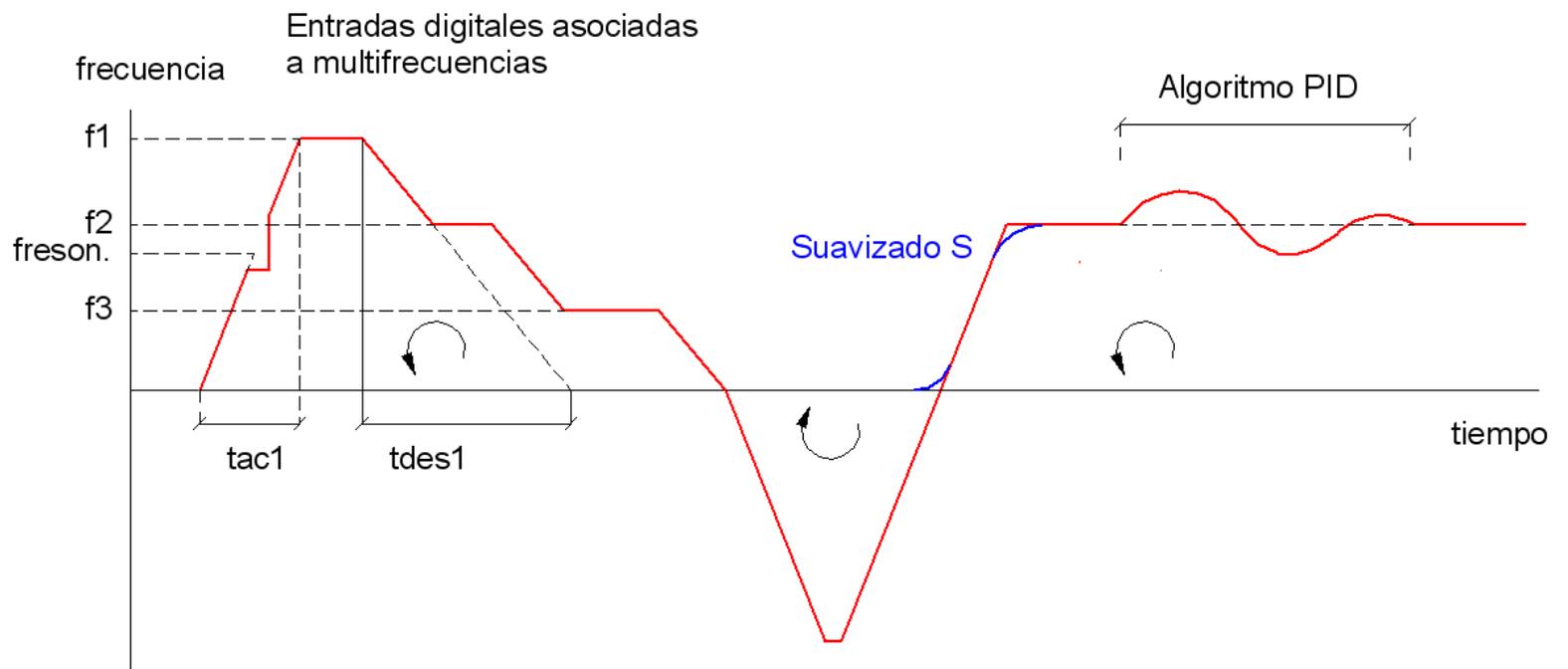
| No. de constante      | Indicador   | Descripción   | Rango de selección | Selección inicial |
|-----------------------|-------------|---|--------------------|-------------------|
| n11 (1)(2)            | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 1                                | 0.0 a 400          | 6.0 (Hz)          |
| n12 (1)(2)            | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 2                                | 0.0 a 400          | 0.0 (Hz)          |
| n13 (2)               | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 3                                | 0.0 a 400          | 0.0 (Hz)          |
| n14 (2)               | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 4                                | 0.0 a 400          | 0.0 (Hz)          |
| n15 (2)               | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 5                                | 0.0 a 400          | 0.0 (Hz)          |
| n16 (2)               | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 6                                | 0.0 a 400          | 0.0 (Hz)          |
| n17 (2)               | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 7                                | 0.0 a 400          | 0.0 (Hz)          |
| n18 (2)               | <b>FREF</b> | Referencia de frecuencia 8                                | 0.0 a 400          | 0.0 (Hz)          |
| n19                   | <b>FREF</b> | Comando de frecuencia inching                             | 0.0 a 400          | 6.0 (Hz)          |
| n20 (1)(2)            | <b>ACC</b>  | Tiempo de aceleración 1                                   | 0.0 a 999          | 10.0 (seg)        |
| n21 (1)(2)            | <b>DEC</b>  | Tiempo de desaceleración 1                                | 0.0 a 999          | 10.0 (seg)        |
| n22 (2)               | <b>ACC</b>  | Tiempo de aceleración 2                                   | 0.0 a 999          | 10.0 (seg)        |
| n23 (2)               | <b>DEC</b>  | Tiempo de desaceleración 2                                | 0.0 a 999          | 10.0 (seg)        |
| n24 (1)(2)            | <b>FMAX</b> | Frecuencia máxima   | 50.0 a 400         | 60.0 (Hz)         |
| n25 (1)(2)            | <b>VMAX</b> | Tensión máxima  | 1 a 255            | 200 (V)           |
| n26 (1)(2)            | <b>FBAS</b> | Frecuencia de tensión máxima                              | 1.6 a 400          | 60.0 (Hz)         |
| n27                   |             | Frecuencia de salida intermedia                           | 0,5 a 399          | 1,5 (Hz)          |
| n28                   |             | Tensión de frecuencia de salida intermedia                | 1 a 255            | 12 (V)            |
| n29                   |             | Frecuencia de salida mínima                               | 0,5 a 10,0         | 1,5 (Hz)          |
| n30                   |             | Tensión de frecuencia de salida mínima                    | 1 a 50             | 12 (V)            |
| n31 (1)(2)            | <b>THR</b>  | Corriente de referencia termoelectrónica                  | 0,0 ver nota 1     | Ver nota 1        |
| n32                   |             | Protección termoelectrónica                               | 1 a 4              | 0                 |
| n33 (1)(2)            |             | Prevención de bloqueo durante desaceleración              | 0, 1               | 0                 |
| n34                   |             | Nivel de prevención de bloqueo durante aceleración        | 30 a 200           | 170 (%)           |
| n35                   |             | Nivel de prevención de bloqueo durante la marcha          | 30 a 200           | 160 (%)           |
| n36 (1)(2)            |             | Funcionamiento tras recuperación de corte de alimentación | 0, 1, 2            | 0                 |
| n37 (1)(2)            |             | Frecuencia portadora                                      | 1, 2, 3, 4         | 4                 |
| n38                   |             | Ganancia de mejora automática de par                      | 0,0 a 3,0          | 1,0               |
| n39 (1)               |             | Ganancia de referencia de frecuencia                      | 0,10 a 2,00        | 1,00              |
| n39 (versión Mod-Bus) |             | Unidades para referencia de frecuencia                    | 0 a 3              | 1                 |
| n40 (1)               |             | Desviación de referencia de frecuencia                    | -99 a 99           | 0 (%)             |
| n40 (versión Mod-Bus) |             | Detección de comunicaciones interrumpidas                 | 0, 1               | 1                 |

| No. de constante         | Indicador | Descripción  | Rango de selección | Selección inicial    |
|--------------------------|-----------|--|--------------------|----------------------|
| n41                      |           | Límite superior de referencia de frecuencia                                    | 0 a 110            | 100(%)               |
| n42                      |           | Límite superior de referencia de frecuencia                                    | 0 a 110            | 100(%)               |
| n43                      |           | Terminal de entrada de referencia de frecuencia                                | 0, 1               | 0                    |
| n44                      |           | Salida analógica multifunción  | 0, 1               | 0                    |
| n45                      |           | Ganancia de salida analógica multifunción                                      | 0,00 a 2,00        | 0,30                 |
| n46                      |           | Control por inyección de c.c.  | 0 a 100            | 50 (%)               |
| n47                      |           | Tiempo de inyección de c.c. a la parada  | 0,0 a 5,0          | 0,5 (seg)            |
| n48                      |           | Tiempo de inyección de c.c. al arranque  | 0,0 a 5,0          | 0,0 (seg)            |
| n49                      |           | Características de aceleración y desaceleración de curva S                     | 0 a 3              | 0                    |
| n50 (2)                  |           | Detección de sobrepar  | 0 a 4              | 0                    |
| n51 (2)                  |           | Nivel de detección de sobrepar   | 30 a 200           | 160 (%)              |
| n52 (2)                  |           | Tiempo de detección de sobrepar  | 0,1 a 10,0         | 0,1 (seg)            |
| n53 (2)                  |           | Nivel de detección de frecuencia   | 0,0 a 400          | 0,0 (Hz)             |
| n54                      |           | Ganancia de compensación de deslizamiento                                      | 0,0 a 9,9          | 0,0 (%)              |
| n55                      |           | Corriente de motor en vacío  | 0 a 99             | 40 (%)               |
| n56                      |           | Salto de frecuencia 1  | 0,0 a 400          | 0,0 (Hz)             |
| n57                      |           | Salto de frecuencia 2  | 0,0 a 400          | 0,0 (Hz)             |
| n58                      |           | Salto de frecuencia 3  | 0,0 a 400          | 0,0 (Hz)             |
| n59                      |           | Anchura del salto  | 0,0 a 25,5         | 1,0 (Hz)             |
| n60                      |           | Número de reintentos de fallo  | 0 a 10             | 0 (veces)            |
| n63 (versión Mod-Bus)    |           | Velocidad de comunicación  | 0 a 3              | 2                    |
| n64 (versión Mod-Bus)    |           | Selección de paridad   | 0 a 2              | 2                    |
| n67 (2) (versión ModBus) |           | Número de unidad (versión Sysmac Bus)<br>Dirección de esclavo (versión ModBus) | 0 a 15<br>1 - 31   | 0<br>1               |
| n68 (1)(2)               |           | Historico de errores   |                    | (Solo visualización) |
| n69                      |           | Número de PROM (referencia de fabricante)                                      |                    | (Solo visualización) |

Parametros mas representativos de un variador de frecuencia.

|     |  |  |  |      |
|-----|--|--|--|------|
| n01 | Selección de constantes.   |  | Todas.                                     | 1    |
|     |  |  | Inicializacion a valores de fabrica        | 8    |
|     |  |  | Modo a 3 hilos (marcha, paro, inversion)   | 9    |
| n02 | <b>Modo de operación. Especifica si el control se va a realizar desde la terminal de datos o de control.</b> |  | Marcha (datos) Ref. frecuencia (datos)     | 0    |
|     |  |  | Marcha (control) Ref. frecuencia (datos)   | 1    |
|     |  |  | Marcha (datos) Ref. frecuencia (control)   | 2    |
|     |  |  | Marcha (control) Ref. frecuencia (control) | 3    |
| n03 | Parada por desaceleracion o marcha libre   |  |  |      |
| n04 | Selección marcha directa o inversa (F/R)   |  |  |      |
| n06 | <b>Selección de entrada multifuncion</b>   |  |  | 4    |
| n09 | Contacto de salida   |  |  | 0    |
| n11 | Referencia de frecuencia   |  |  | Hz   |
| n12 | <b>Referencia de frecuencia 2</b>  |  |  | Hz   |
| n20 | <b>Tiempo de aceleracion (ACC)</b>   |  |  | seg. |
| n21 | <b>Tiempo de desaceleracion (DEC)</b>  |  |  | seg. |
| n24 | Frecuencia maxima  | Para seleccionar curva V/f.<br><b>Par constante hasta 50 Hz.</b> | 100 Hz                                     | Hz   |
| n25 | Tension maxima   |  | 230 V                                      | V    |
| n26 | Frecuencia de tension maxima   |  | 50 Hz                                      | Hz   |
| n27 |  | Para seleccionar curvas para ventiladores o bombas               |  |      |
| n28 |  |  |  |      |
| n29 |  |  |  |      |
| n30 |  |  |  |      |
| n31 | <b>Corriente de referencia para proteger el motor (THR)</b>  |  | Corriente nominal de motor                 | A    |
| n33 | Prevencion de bloqueo durante desaceleracion   |  |  | 0    |
| n34 | Prevencion de bloqueo durante aceleracion  |  | 170%                                       |      |
| n35 | Prevencion de bloqueo durante la marcha  |  | 160%                                       |      |
| n46 | <b>Corriente de control por inyeccion de cc.</b>   |  | Se ha seleccionado 0 en n03                | 50%  |
| n47 | Tiempo de inyeccion de cc a la parada  |  |  | 1 s  |
| n49 | Caracteristicas aceleracion y deceleracion curva S   |  |  | 2    |
| n56 | <b>Saltar frecuencias que pueden producir resonancias</b>  |  |  | Hz   |
| n59 | Ancho del salto para evitar resonancias  |  |  | Hz   |
|     |  |  |  |      |

Curva de funcionamiento de un proceso con variación de velocidad.



A la mayoría de procesos con variación de velocidad se le aplica un **par constante**. Para que esto ocurra, en un variador de velocidad, la relación **V / frecuencia también tiene que ser constante**. Esto se hace así ya que cuanto menor es la frecuencia menor es la reactancia de las bobinas.

Esto es aplicable a tensiones por debajo de la tensión nominal; por encima de la tensión nominal (**Vn**), **como no se puede cambiar ésta**, y  $P_{mecánica} = Par \cdot \omega$  y  $P_{eléctrica} = Vn \cdot i = cte$ , resulta que la potencia mecánica también es constante. Por lo tanto al aumentar la velocidad de giro ( $\omega$ ) debe disminuir el par.

Si se mantiene constante la relación entre la tensión y la frecuencia no se tiene en cuenta que los devanados también tienen resistencia óhmica; como esta no depende de la frecuencia el par disminuye a bajas velocidades. Una posible solución es aumentar un poco más la tensión a frecuencias bajas. También es posible modificarla según el consumo y la resistencia de los devanados.

Para ventiladores y bombas centrifugas se le puede aplicar una ley mas optimizada para consumir menos ya que en el arranque de estas aplicaciones no existe casi par antagonista.

El **PID** es una estrategia de control por la cual cuando la velocidad (en este caso) se aleja de un valor de referencia (por arriba o por debajo) corrige dicha desviación en un tiempo aceptable. Funciona en bucle cerrado.

Cuando la velocidad del rotor es mayor que la velocidad del campo magnético giratorio (esto puede ocurrir cuando se le aplica un frenado a una aplicación) se inyecta corriente al variador desde el motor, ya que este pasa a funcionar como generador. Se puede disipar la energía que produce dicha inyección en unas **resistencias** que se le pueden conectar al variador si esta energía resulta peligrosa para el dispositivo.

Hay variadores que son capaces de volver a inyectar a la red esta energía que produce el motor cuando se esta frenando. Dichos variadores se dice que poseen la capacidad de un **frenado regenerativo**. Esto se esta aplicando en coches eléctricos, en donde se aprovecha la bajada por una pendiente para recargar la batería.

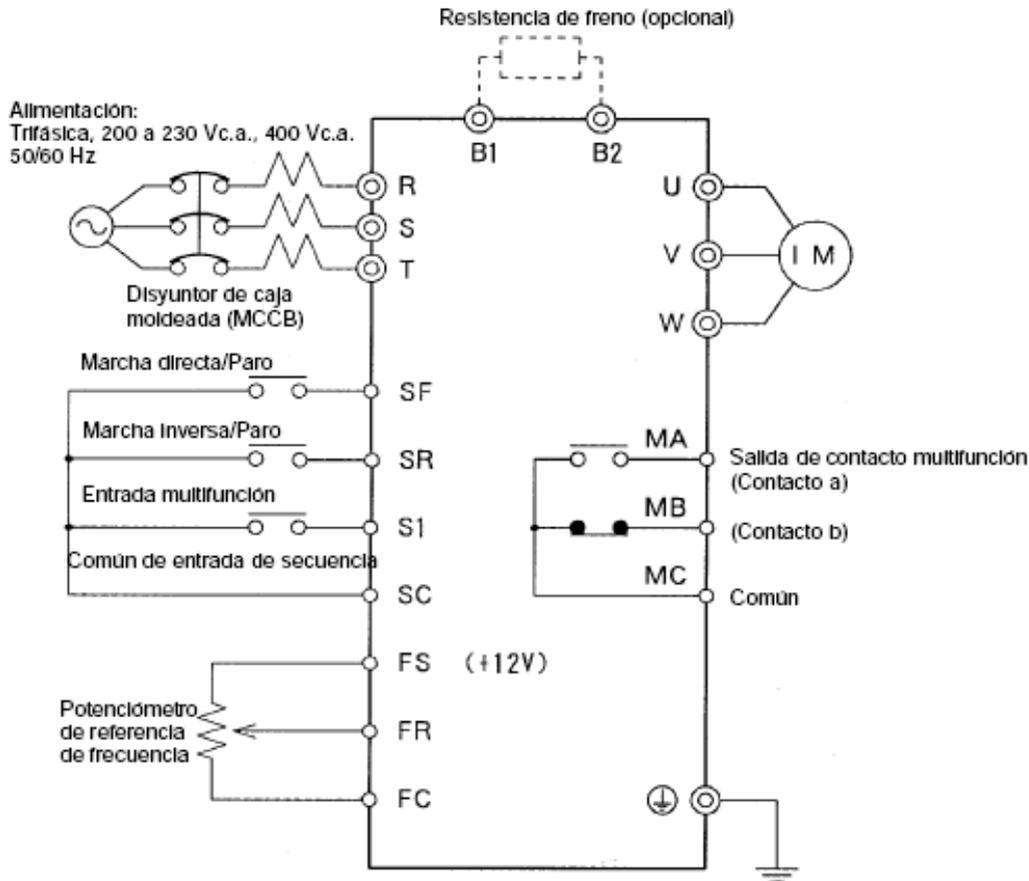
Si el control esta basado en el modelo del motor en régimen permanente se llama **escalar**. En este modelo solamente se tiene en cuenta la amplitud de la tensión. El control **vectorial** tiene en cuenta además la fase y aplica un modelo más complejo que supone un conocimiento preciso de la orientación del campo magnético. Esto permite actuar mucho mejor sobre el par durante los transitorios y alcanzar unas prestaciones dinámicas (con aceleraciones y deceleraciones controladas) como las que se pueden conseguir con los motores de continua. En muchos casos el control vectorial exige conocer la posición del motor mediante sensores de posición como pueden ser los encoders incrementales y encoders absolutos.

**Diagrama de conexión modelo básico:**

3G3EV-AB□□□CE

3G3EV-A2□□□E

3G3EV-A4□□□CE

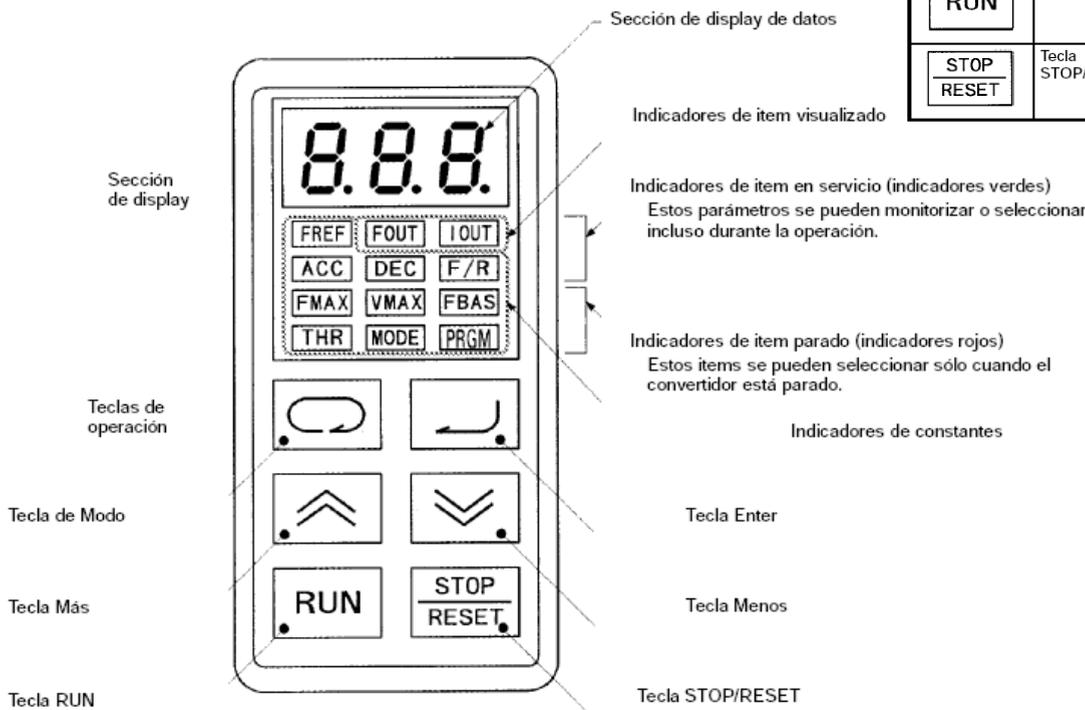


**Nota** Si se utiliza un 3G3EV-AB□□□ en modo de entrada monofásica, aplicar a los terminales R y S una tensión monofásica de 200 a 240 Vc.a. con una frecuencia de 50/60 Hz.

## 4-2 Utilización del Terminal de Datos

### 4-2-1 Nombre y función de los componentes

#### Nomenclatura



|  |                  |   |
|--|------------------|---|
|  | Tecla de Modo    | Pulsar esta tecla para conmutar entre indicadores de ítem a visualizar e indicadores de constantes.   |
|  | Tecla Enter      | Pulsar esta tecla para registrar el valor seleccionado en una constante.  |
|  | Tecla Más        | Pulsar esta tecla para aumentar el no. de constante o el valor de una constante.  |
|  | Tecla Menos      | Pulsar esta tecla para reducir el No. de constante o el valor de una constante.   |
|  | Tecla RUN        | Pulsar esta tecla para arrancar el convertidor. (Esta tecla es válida solo cuando el terminal de datos está en modo run y están apagados todos los indicadores de ítem parado).   |
|  | Tecla STOP/RESET | Pulsar esta tecla para parar el convertidor. (Esta tecla es válida sólo cuando el Terminal de Datos está seleccionado a modo run). Pulsar también esta tecla para restaurar el convertidor cuando se ha producido un error. |



## Automatismos programados.

Hasta no hace mucho tiempo las **tareas de control** había que cablearlas., cosa que no significaba mucho problema cuando no eran muy complejas., pero cuando había que reconfigurar las funciones a realizar o aumentar los elementos que participaban las cosas se complicaban.

Pensemos en el siguiente problema. Hay que añadir 2 finales de carrera mas en un automatismo, dichos finales de carrera cumplirán unas funciones determinadas que antes el automatismo no tenia. Para acomodarlos hay que descablear el automatismo y volver a conectarlo de nuevo con los finales de carrera. Según sea la problemática de instalar los finales de carrera llevara mas o menos tiempo volver a cablear todo el cuadro.

Lo anterior lo expusieron con otras palabras los fabricantes de coches a los diseñadores de forma que idearan algún sistema para poder volver a reconfigurar los automatismos de sus plantas de fabricación de forma rápida y fiable.

El **autómata programable** vino a simplificar el problema anterior ya que solamente había que conectar de forma **centralizada** una serie de **entradas** que venían a indicar las ordenes que se le suministraban al sistema (mediante pulsadores, interruptores, etc... mediante lo que se conoce como dialogo hombre-maquina) o mediante sensores (que le envían señales del entorno del proceso)) con la particularidad de que todas las señales le llegan en paralelo., y una serie de **salidas** que hacían accionar los elementos del sistema (contactores, relés, motores, electroválvulas, etc...). **La particularidad de dichas salidas es que todas se cablean también en paralelo.**

En definitiva, según lo anterior al autómata le llegan una serie de señales de entrada, este las procesa mediante un programa introducido por un usuario y mediante un **cableado virtual** activa las salidas correspondientes a las conclusiones del programa para esas señales de entrada en particular.

En el caso de querer aumentar la instalación solamente es necesario cablear las correspondientes señales de entrada y las correspondientes salidas y volver a configurar el programa de forma que se incluyan en él dichas señales de entrada y salida.

Las conexiones entre los diferentes elementos de las entradas y de las salidas se hacen de forma programada., es decir, las conexiones en vez de ser físicas se hacen a través de un programa con una lógica determinada. La implementación de la lógica se hace mediante un software específico por medio de entornos amigables para el usuario (diagramas de contactos para los eléctricos, diagrama de funciones para los electrónicos y lista de instrucciones para los informáticos).

El autómata es la unidad de control, incluyendo total o parcialmente las interfaces (circuitos de acoplamiento) con las señales de proceso. Internamente es un circuito electrónico que consta de una CPU, una memoria y un sistema de control interno determinado.

Cuando se quiere realizar una aplicación se programa según un dispositivo determinado (ya sea una consola o un PC por ejemplo). El lenguaje para realizar la aplicación es relativamente amigable para el usuario (por ejemplo una programación en lenguaje de contactos). Este lenguaje esta implementado en un programa que va a hacer de traductor convirtiendo la lógica escrita en lenguaje de contactos a lenguaje maquina (de ceros y unos); que es el único que entiende el autómata.

El programa creado anteriormente lo transferimos al PLC quedando guardado en su memoria.

El funcionamiento normal de un autómata es de tipo secuencial y cíclico., es decir, las operaciones tienen lugar una tras otra, y se van repitiendo continuamente mientras el autómata este bajo tensión.

Al activarse el autómata lo primero que realiza este es una serie de chequeos internos para comprobar que sus sistemas están correctamente. Después de esto el autómata lee las entradas y las guarda en memoria. Luego ejecuta el programa de usuario con dichas entradas dando como resultado unas salidas que también guarda en memoria. Por ultimo escribe esas salidas almacenadas en memoria en las salidas físicas (cableadas) del autómata donde interaccionan con el proceso real.

El tiempo total que el autómata emplea para realizar un ciclo de operación se llama tiempo de ciclo (Scan Time). Existe un reloj de guarda interno (wachdog) no accesible por el usuario que fija el tiempo máximo de ejecución de un ciclo de operación. Si este temporizador alcanza el valor prefijado, entre 0,1 y 0,5 segundos según modelos el autómata pasa al estado Stop y se ilumina el indicador de error. Posibles causas para la activación del reloj de guarda pueden ser:

Existencia de algún error de sintaxis en el programa, de forma que nunca se alcanza la instrucción final END.

Bloqueo de la comunicación con periféricos externos.

Avería en el funcionamiento de la CPU.

Para la realización del programa de usuario existen las siguientes opciones.

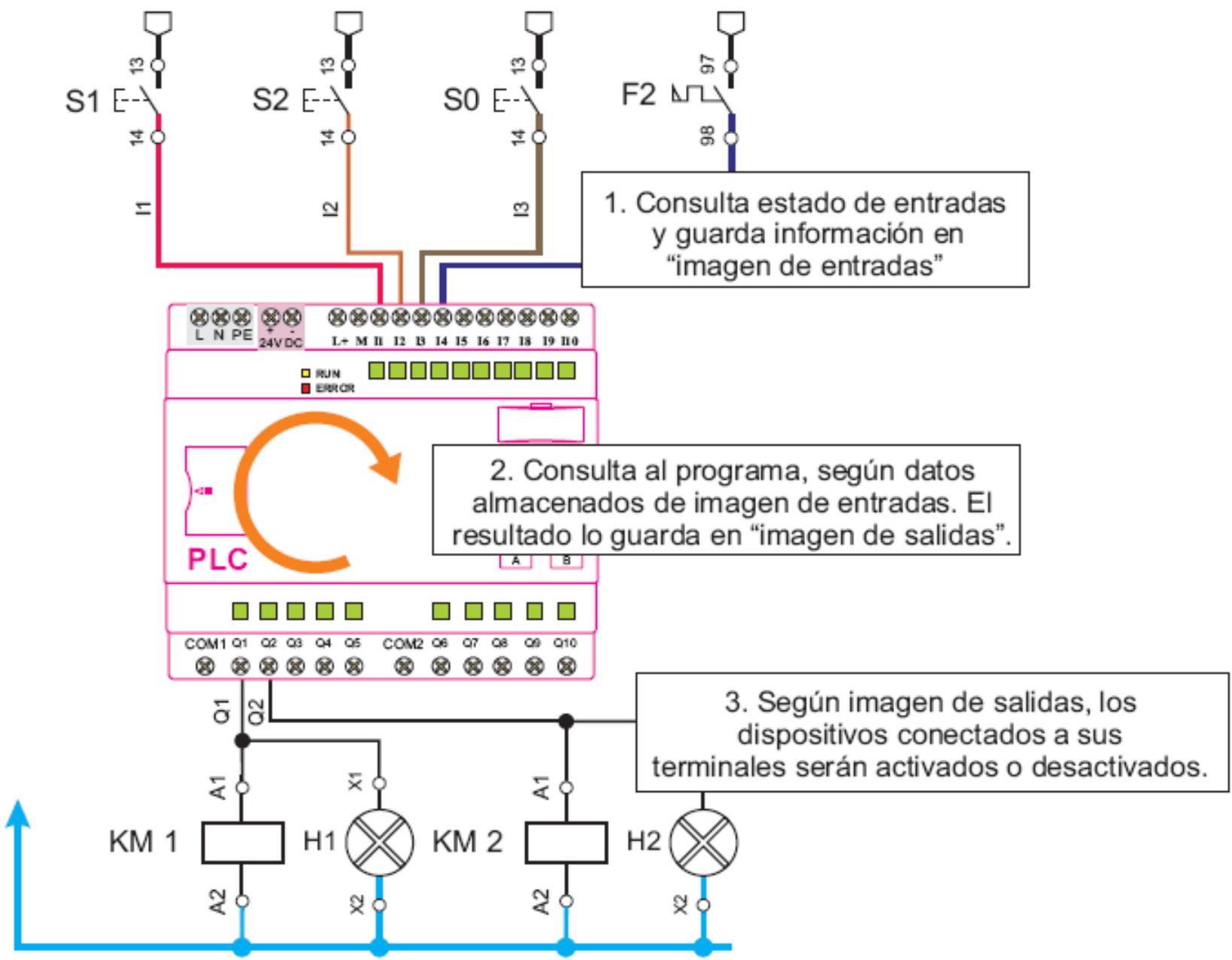
Lenguaje en lista de instrucciones. Consiste en escribir los comandos utilizados en la lógica de control de forma similar a las instrucciones de control de un microprocesador convencional. Es una especie de lenguaje ensamblador.

Diagrama de contactos o lógica de escalera. Este lenguaje utiliza símbolos de contactos abiertos y cerrados, de bobinas, etc... que son comunes en los circuitos eléctricos. Este tipo de programa fue realizado para hacer más fácil la programación de los PLC's a las personas con conocimientos de diagramas eléctricos., que en definitiva era la gente que trabajaba en mantenimiento en las fabricas de producción.

Diagrama de bloques de funciones. Este lenguaje define símbolos de bloques para las funciones, como pueden ser una puerta AND, una puerta OR, temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, comunicaciones por el puerto serie, etc ... como los utilizados en electrónica. Los bloques están predeterminados en el programa con una cierta funcionalidad, de tal forma que el usuario lo único que tiene que hacer es indicarle los parámetros de entrada para su procesamiento y asignar la salida del bloque a un registro de salida o a una bobina para una actuación física.

Diagramas de funciones secuenciales. Se utilizan para realizar procesos secuenciales. Implementan directamente un proceso desarrollado mediante GRAFCET.

### Ciclo operativo de trabajo (ciclo de scan).

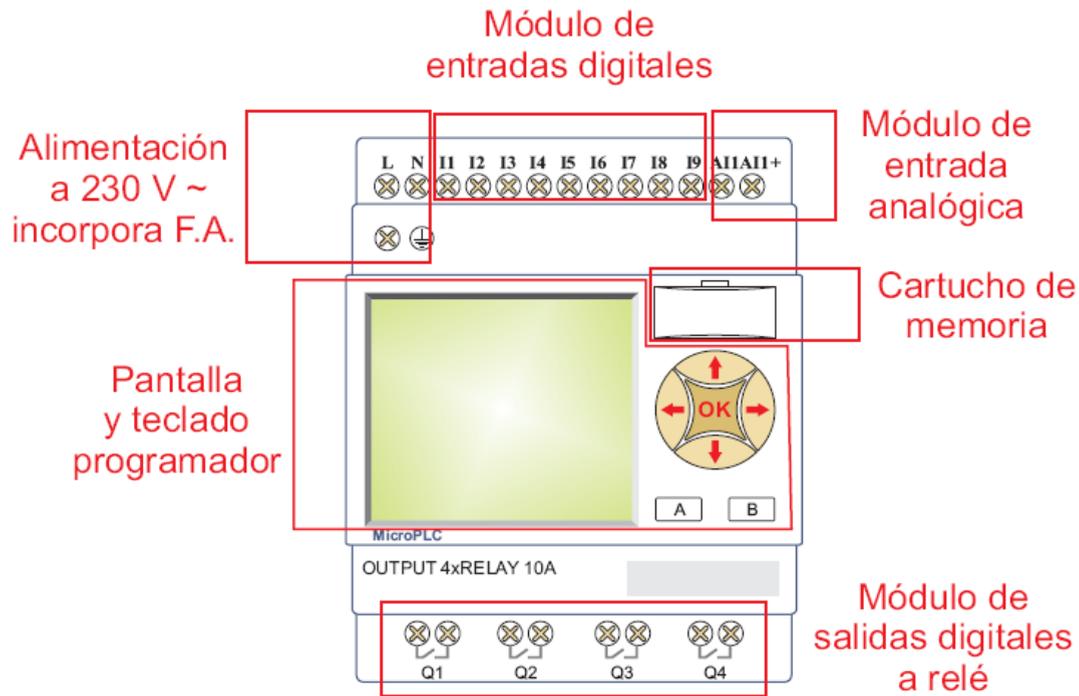




## Micro plc's.

Son autómatas con un número pequeño de entradas y salidas para realizar automatizaciones simples.

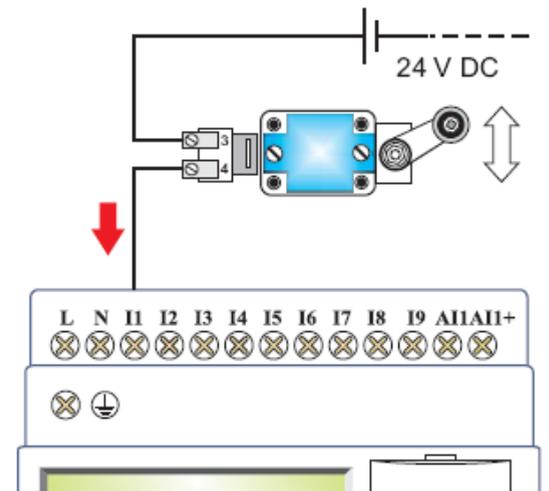
Algunos tienen la particularidad muy útil de que se pueden programar directamente en una pantalla LCD que viene incluida en el modulo.



## Entradas digitales.

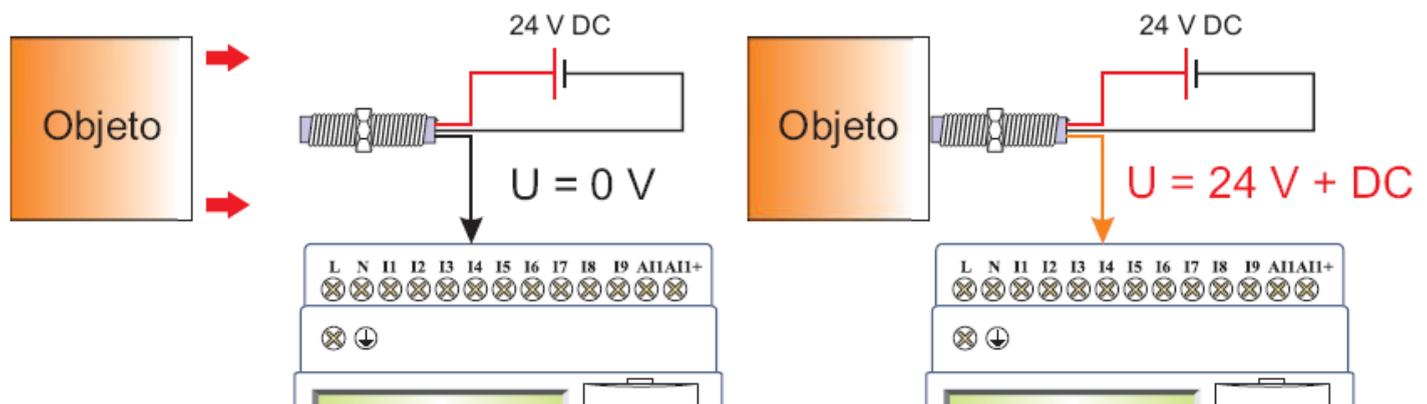
### Sensores pasivos.

Son sensores que no necesitan alimentación eléctrica para que cumplan su función y sus contactos conmutan cuando detectan algo. También se incluyen en esta categoría los elementos de entrada del dialogo hombre-maquina, pulsadores, interruptores, selectores, etc...



### Sensores activos.

Necesitan alimentación eléctrica para que puedan detectar algo ya que funcionan gracias a una circuitería electrónica.



## Señales analógicas en microautómatas (tomando como ejemplo el LOGO).

Los terminales de los módulos de entrada de señales analógicas, recibirán un valor de tensión o intensidad equivalente a la magnitud real medida.

| Valores estándar de tensión                         | Valores estándar de intensidad                       |
|---|--|
| -10 V a +10 V.<br>0 a +10 V c.c.<br>+2 a +10 V c.c. | 0 a 20 mA.<br>4 a 20 mA.<br>+1 a -5 mA<br>0 a +5 mA. |

Valores estándar de tensión e intensidad para sensores analógicos.

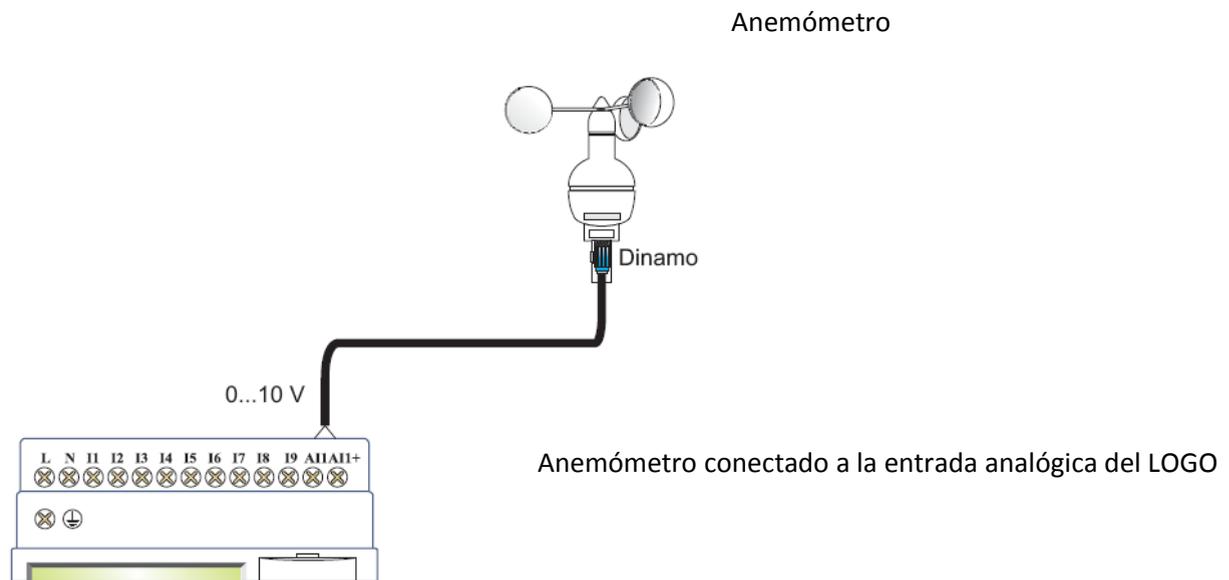
Ejemplo.

Un anemómetro mide la velocidad del viento, y en su composición, se encuentra una pequeña dinamo solidaria al eje principal del mismo. Según la velocidad de giro, la dinamo generara una determinada tensión, sirvan los valores.

Anemómetro parado, genera 0V DC.

Anemómetro girando con un viento de 50 km/h, genera 4 V DC.

Anemómetro girando con un viento de 100 km/h, genera 8 V DC.



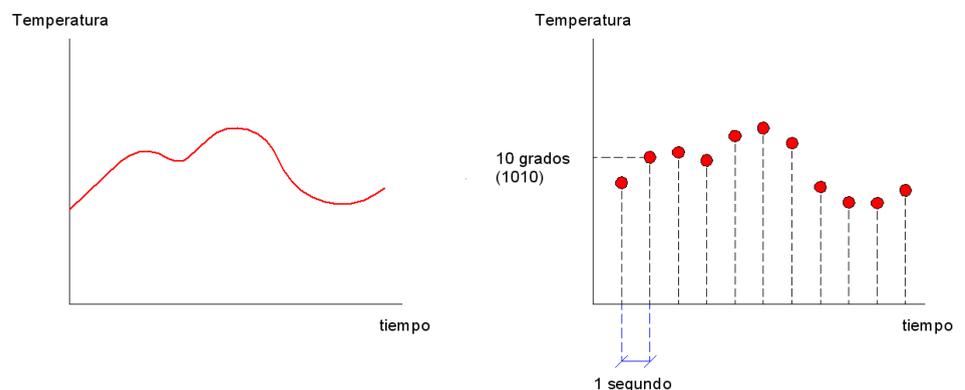
## Señales continuas.

Cuando se habla de una magnitud analógica, hablamos de una magnitud cuya variación es continua, es decir, entre un valor mínimo y un máximo, la magnitud puede tomar todos los infinitos posibles valores entre ellos. (Como ejemplo se tiene por ejemplo la temperatura de una habitación).

En contrapartida, una magnitud digital tiene una variación discreta, es decir, entre los dos puntos anteriores, la magnitud solo puede tomar un número limitado y concreto de valores.

La información analógica se puede transformar en información digital por medio de la digitalización.

Para digitalizar una señal analógica se muestrea ésta (se toman sus valores en determinados momentos de tiempo, por ejemplo cada segundo), de forma que se obtiene una serie de valores finitos en lugar de utilizar todos los valores de la señal. Luego de tomar los valores éstos se traducirán a un lenguaje binario (cuantificación) para que los pueda entender el automata. Habrá que tener en cuenta para la selección del muestreo si la variación de la señal es rápida o lenta.



## Cableado de entradas en función de la tensión a utilizar.

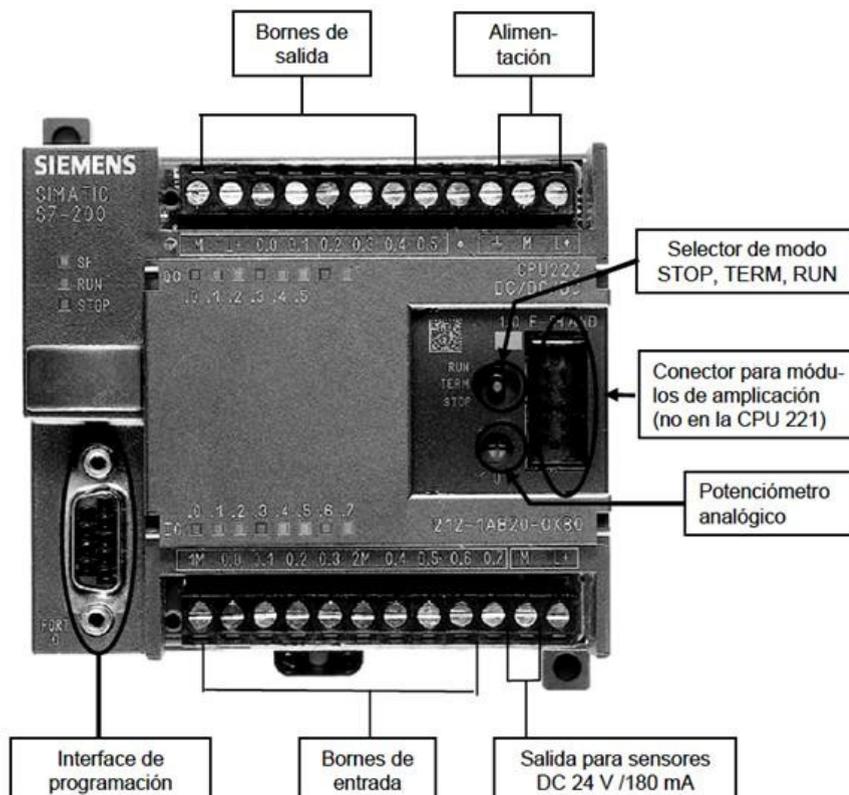
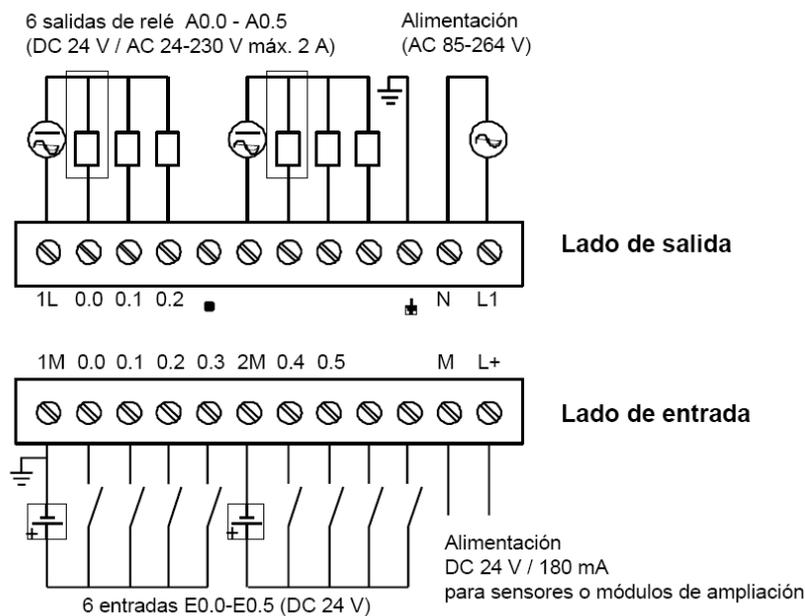
Según el modelo de autómatas a utilizar hay que tener en cuenta la tensión de alimentación a las entradas.

Así, nos podemos encontrar con autómatas con entradas a 230 V, entradas a 24 V, etc... Se tendrá que consultar el manual en cada caso.

Las entradas a 24 V se utilizan de forma habitual en los entornos industriales.

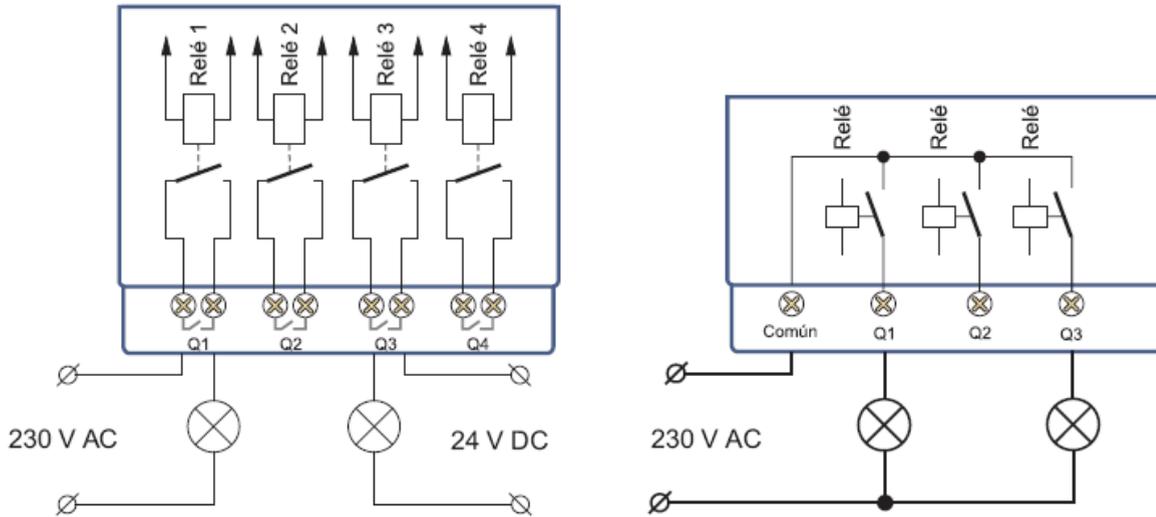
Muchos autómatas traen internamente una fuente de tensión que es la que se utiliza para alimentar las entradas. En el caso de que el autómata no la traiga o se tenga que alimentar a muchos sensores activos se tendrá que utilizar una fuente de alimentación externa.

Como ejemplo se pueden ver en la siguiente imagen las entradas y salidas del SIMATIC S7200.



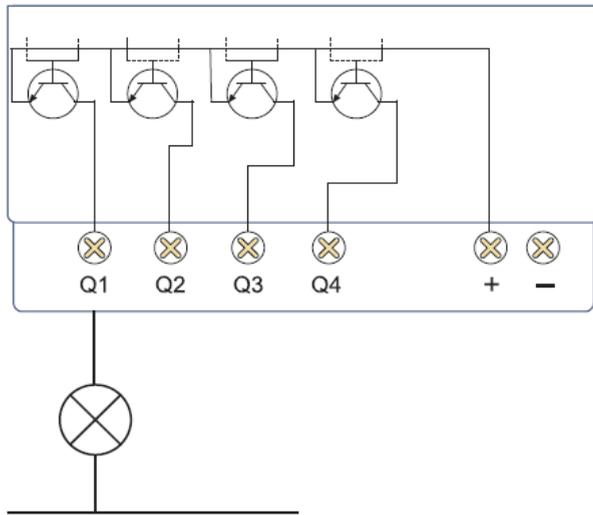
### Salidas a relé.

Los contactos están **libres de potencial** y hay que alimentarlos mediante una fuente de tensión externa.



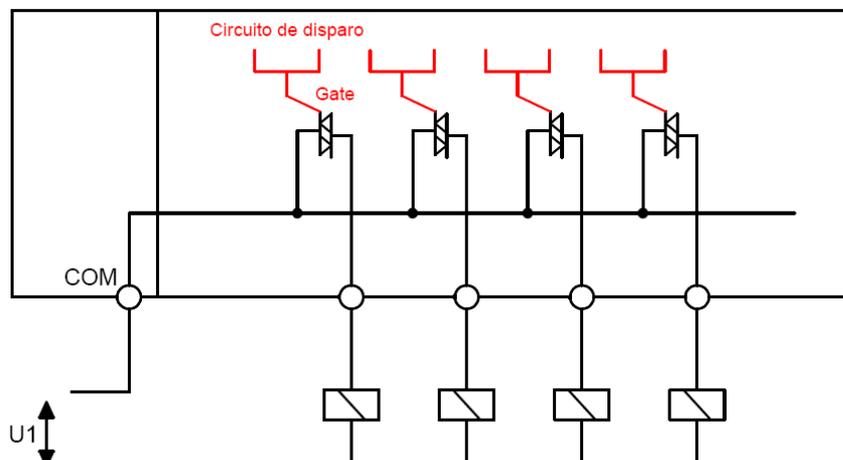
### Salidas a transistor.

Se utilizan para maniobras rápidas en circuitos de cc. Los transistores en este caso se comportan como interruptores electrónicos. Al activarse la base del transistor permanentemente se activa la salida.



### Salidas a triac.

Los triacs son interruptores de estado sólido (sin partes móviles) gobernados por una puerta (gate). Se utilizan en circuitos que necesitan maniobras de conmutación muy rápidas en circuitos de ca y cc. Al enviarle un impulso a la puerta (gate) el tiristor se activa, para desactivarlo se le enviara otro impulso a la misma puerta.



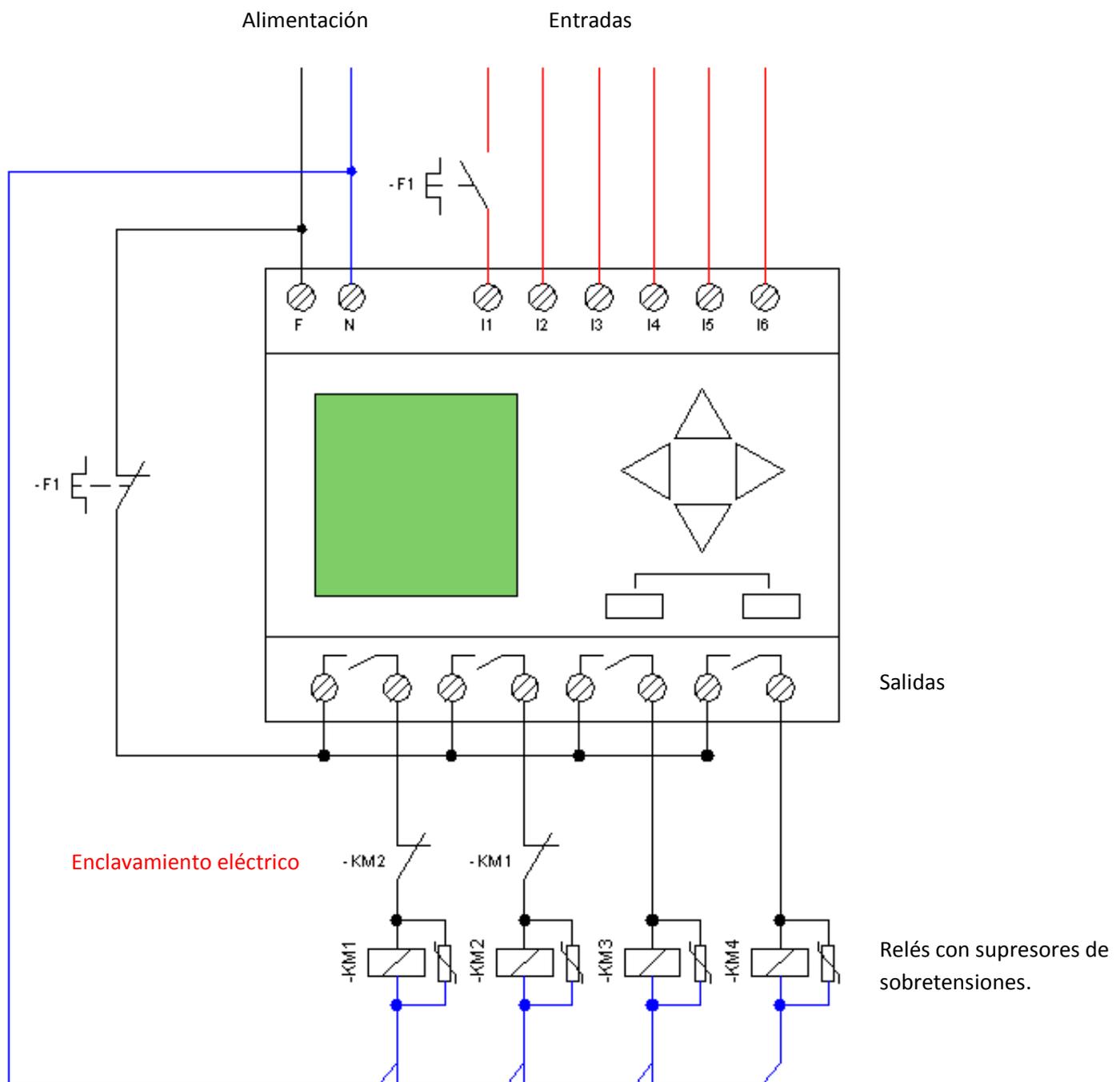
## Seguridades a tener en cuenta.

Los contactos de corte de los elementos de seguridad (relés térmicos, termostatos, presostatos de alta presión, etc...) procuraremos colocarlos de forma que siempre corten el circuito de alimentación a las salidas de forma directa (en general si queremos que al producirse un fallo se desactive todo el sistema) o un circuito en particular si se quiere que al producirse el fallo solo se desactive esa salida. Otro contacto lo utilizaremos para desactivar la salida (o salidas) correspondiente mediante programa y señalar el fallo. No es conveniente utilizar los contactos de corte para que solamente desactiven las salidas mediante programa ya que los autómatas no se consideran elementos fiables en cuestiones de seguridad.

En el caso de que existan enclavamientos estos se seguirán manteniendo físicamente aunque también se realizaran en el programa.

Se colocaran en las boinas, supresores de sobretensiones para evitar daños en los contactos de las salidas del autómata.

Todo lo anterior se aplica como regla general. En el caso de maquinaria en la que se puedan producir situaciones peligrosas se utilizaran además **módulos de supervisión de seguridad**.



## Programación en lenguaje de contactos.

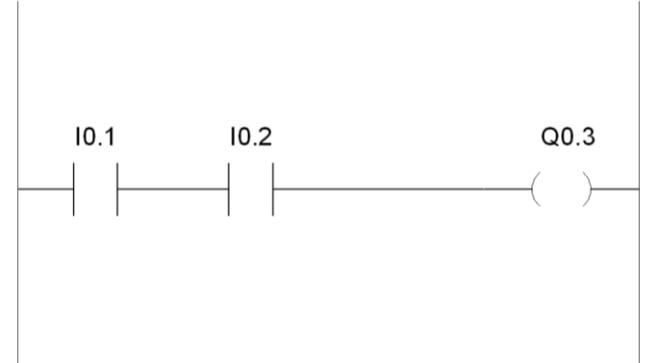
En la mayoría de los programas utilizados para programar aplicaciones la disposición es la siguiente.

En una barra vertical situada a la izquierda se presupone que existe tensión respecto a una barra vertical situada a la derecha. Serían el equivalente a Fase y Neutro.

A cada entrada se le pueden asignar tantos contactos normalmente abiertos o cerrados como se quieran. La lógica de funcionamiento se realizará en base a contactos y a elementos que se presentaran mas adelante. La asignación se hará por medio del nombre. I0.0, I0.1 ,etc...

A cada salida se le asigna una bobina de forma que cada vez que la bobina esté activa lo estará también dicha salida física. La asignación se hará por medio del nombre. Q0.0, Q0.1, etc...

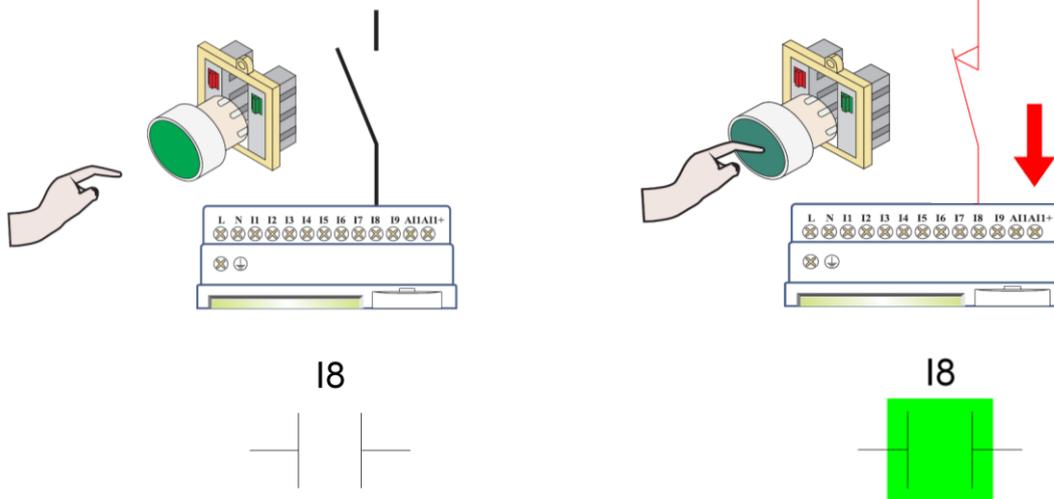
Un programa podría ser el siguiente.



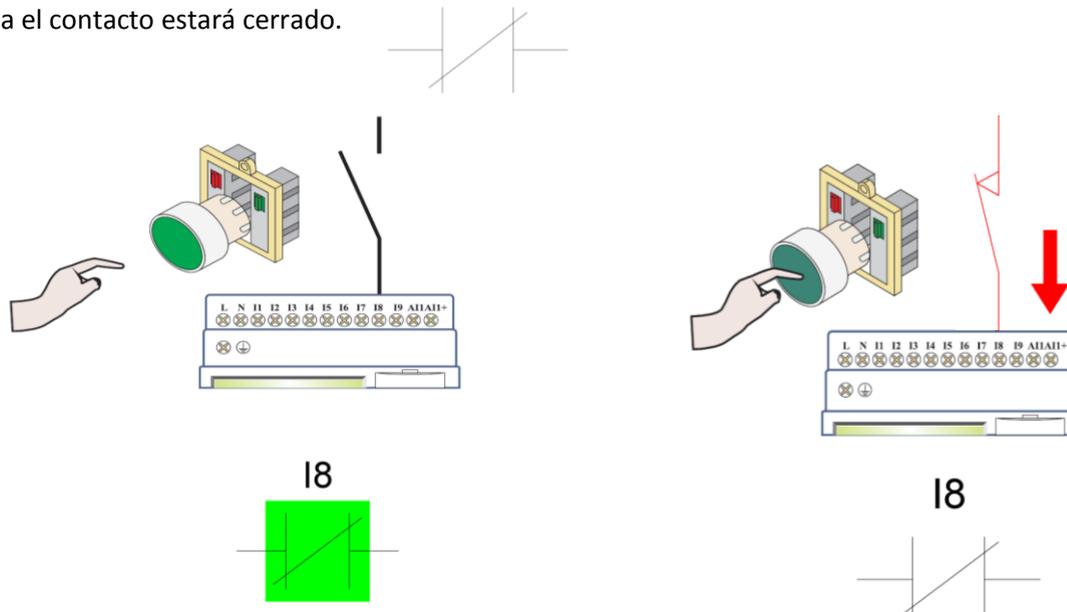
## Simbología aplicada a la programación de autómatas.

Contacto NA (normalmente abierto). Cuando la entrada I8 este desactivada el contacto en el programa estará abierto. Cuando la entrada este activa, el contacto estará cerrado. **Las entradas siempre reaccionan cuando circula corriente por ellas.**

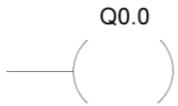
**El criterio a seguir es, que el color verde indica continuidad.**



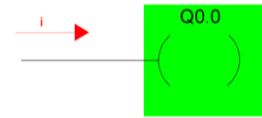
Contacto NC (normalmente cerrado). Cuando la entrada I8 este desactivada el contacto estará cerrado. Cuando la entrada este desactivada el contacto estará cerrado.



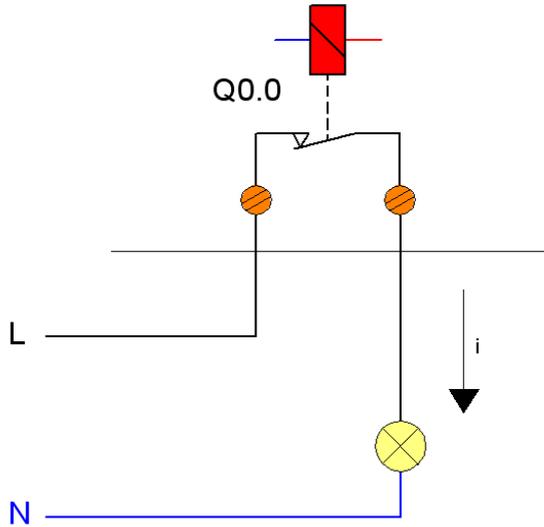
## Bobinas.



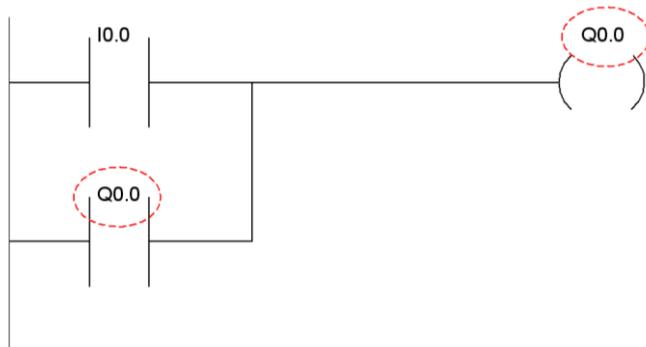
En el momento que se activa la bobina de salida en el programa...



... se activa la salida física que alimenta una carga (en este caso una lámpara).



A las bobinas de salida también se les pueden asociar contactos NA y NC (por ejemplo para hacer **realimentaciones**).

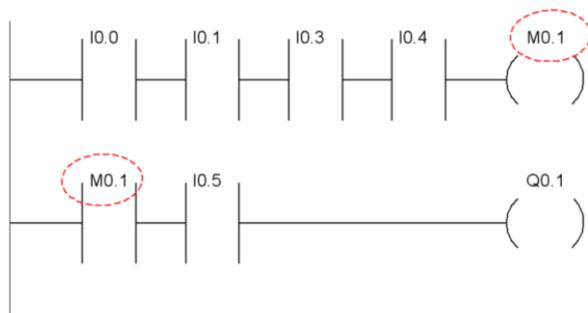


## Marcas internas.



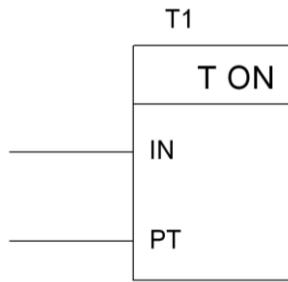
Son bobinas que al activarse no tienen una salida física; es decir, son como las bobinas normales (Q0.0) pero sin salida externa.

Un ejemplo de utilización puede ser el siguiente: Si se tienen 5 entradas y no cogen en una línea de programa se utilizara una marca como principio de otra línea. Serian los análogos en lógica cableada de los contactores auxiliares (KA).

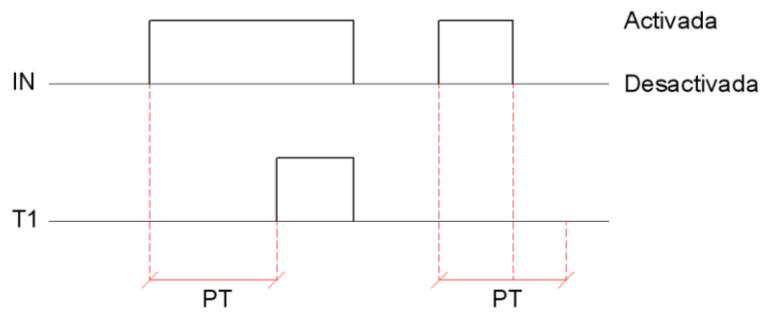


## Temporizadores.

### Temporizador a la conexión.



### CRONOGRAMA DE ACTUACION

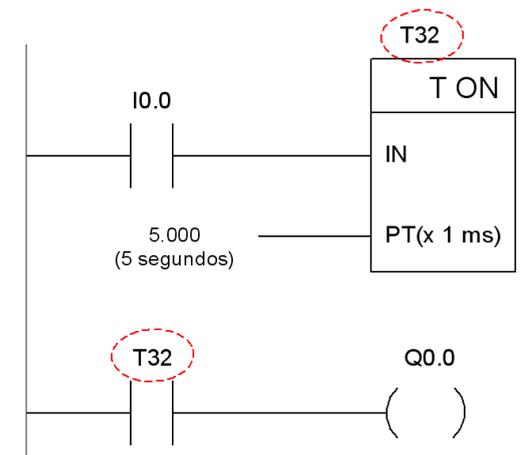


Al activarse la entrada IN del temporizador (se pone a 1; es decir, recibe tensión), dicho temporizador comienza a "contar segundos". Al pasar el tiempo indicado como PT (Preselección de Tiempo) **la salida del temporizador T1 se pondrá a 1 y todos los contactos asociados a él se activarán**. En el momento que la entrada IN este a 0 la salida del temporizador T1 también estará a 0.

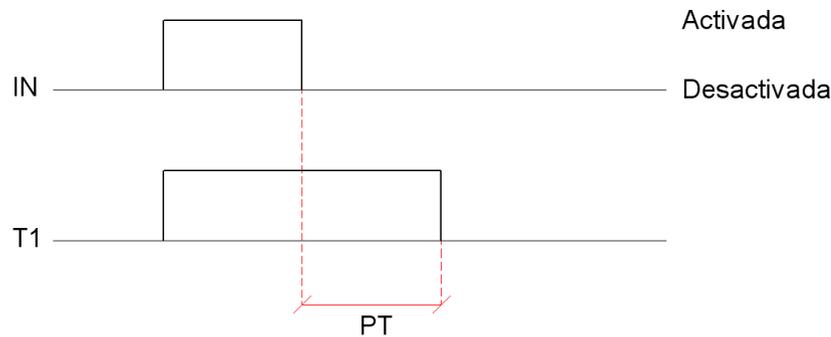
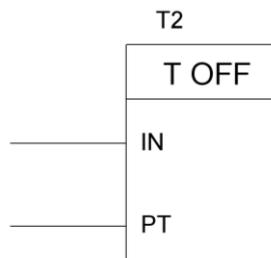
Al activarse la entrada I0.0 el temporizador comienza a contar. Si la entrada sigue activa después de 5 segundos el temporizador T32 se activa y hace que se cierre el contacto abierto asociado a él, permitiendo que se active la bobina de salida Q0.0.

En el momento que I0.0 este desactivada, Q0.0 también estará desactivada.

NOTA: En el Simatic S7200 el temporizador de retardo a la conexión sigue contando después de que ha llegado a su valor de preselección si su entrada sigue activa, y para de contar al llegar al valor máximo de 32767.



### Temporizador a la desconexión.



Al activarse la entrada IN del temporizador (se pone a 1; es decir, recibe tensión) la salida del temporizador se activa; es decir, los contactos asociados al temporizador se activan. En el momento que se desactive la entrada IN, el temporizador comenzara a contar manteniendo la salida activa hasta que transcurra el tiempo de preselección PT.

Al activarse la entrada I0.0, la salida Q0.0 se activa también. Al desactivarse la entrada I0.0, la salida Q0.0 quedara activa durante 5 segundos.

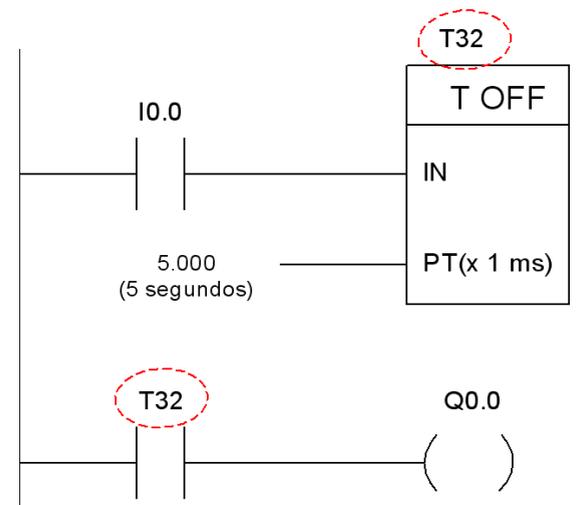
NOTA: Para el Simatic S7200, existen tres resoluciones para elegir el tiempo de temporización. Viene determinada dicha resolución por el número del temporizador que estemos utilizando. Para los TON, TOFF, son los siguientes:

Para resoluciones de 1 ms: T32 y T96.

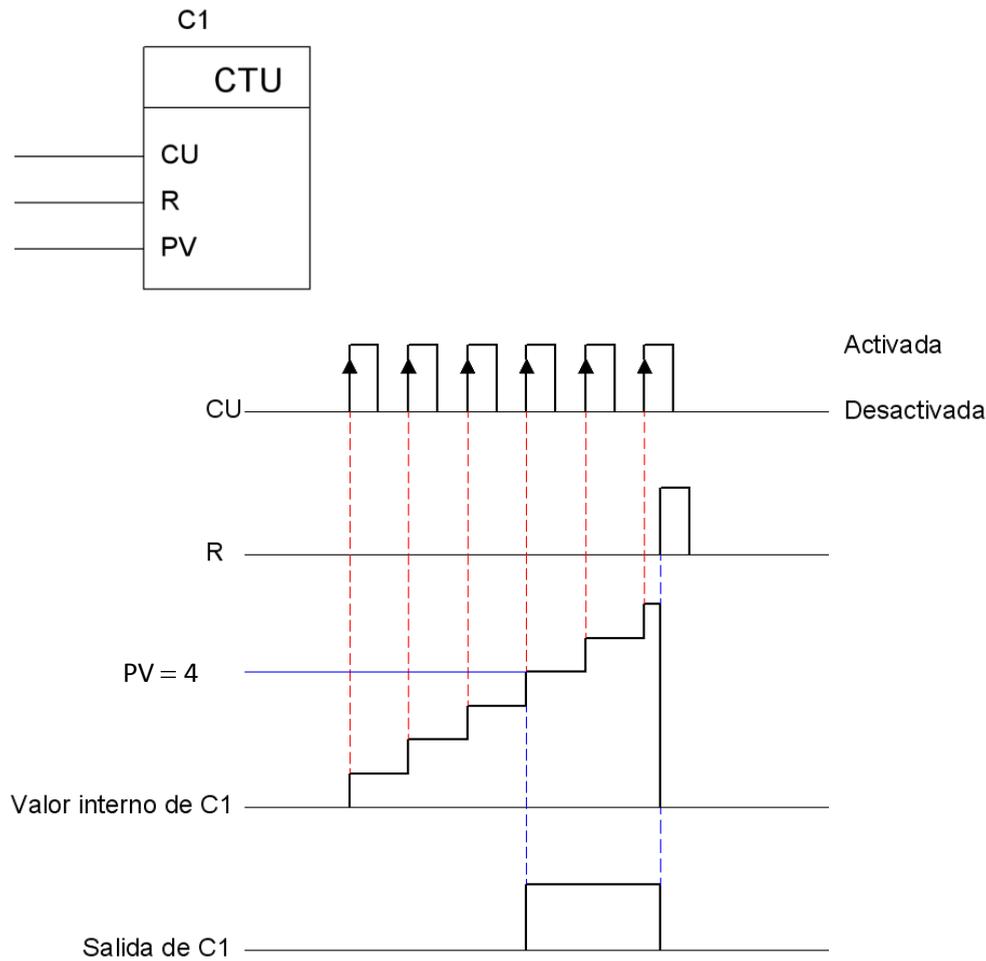
Para resoluciones de 10 ms: De T33 a T36 y de T97 a T100.

Para resoluciones de 100 ms: De T37 a T63 y de T101 a T255.

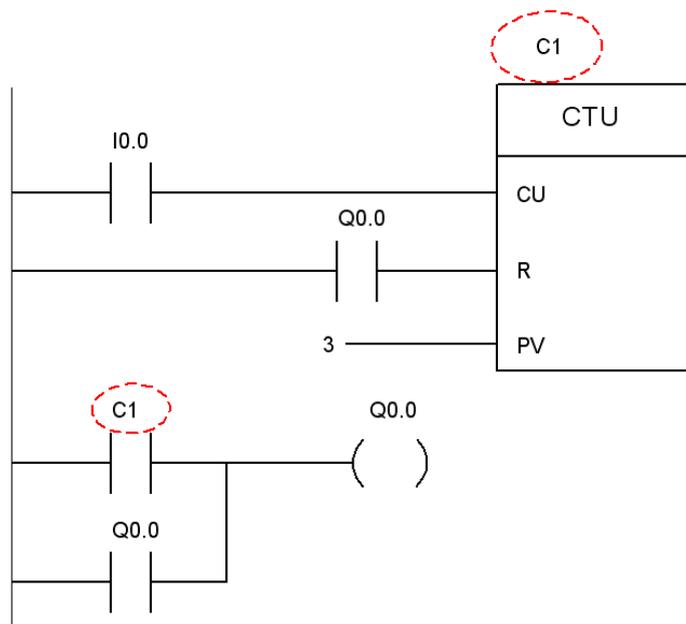
No se pueden compartir números iguales para los temporizadores TON y TOFF; es decir, no puede haber tanto un TON 32 como un TOFF 32.



## Contadores.

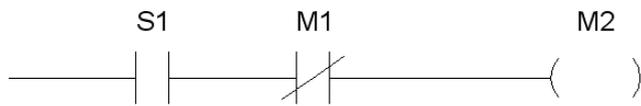


Cada vez que se activa la entrada CU (mediante un flanco de subida; es decir, una transición de estado bajo a estado alto) el contador almacena un valor internamente. Cuando se llega al valor de preselección (PV) la salida del contador se activa. Para otros impulsos de entrada el contador seguirá almacenando valores internos hasta llegar al valor 32.767. Si se quiere que el contador empiece a contar de nuevo desde 0, se **reseteará** dicho contador en el momento adecuado.

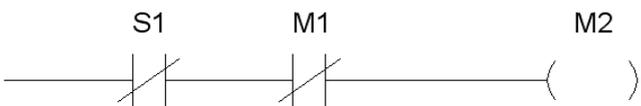


Cuando la entrada I0.0 se activa 3 veces (3 pulsaciones por ejemplo) la salida Q0.0 se activa. En el siguiente ciclo de programa el contador C1 vuelve a ponerse a 0 (Q0.0 resetea al contador) y la salida C1 se desactiva; pero Q0.0 sigue activa ya que esta realimentada.

### Contactos de flanco positivo y flanco negativo.



Flanco positivo (Q1 funciona durante un ciclo de reloj)



Flanco negativo (Q1 funciona durante un ciclo de reloj)

### Bobinas de SET y de RESET.

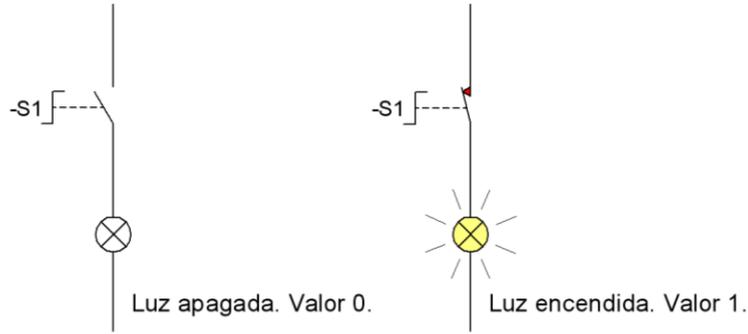
La bobina de set se activa mediante un impulso de subida; es decir, al activar un pulsador por ejemplo, la salida a la que esté asociada la bobina de set queda activada permanentemente; es como si tuviese una realimentación interna.

Para desactivar la salida asociada anterior se tiene que activar con otro impulso de subida la bobina de reset.

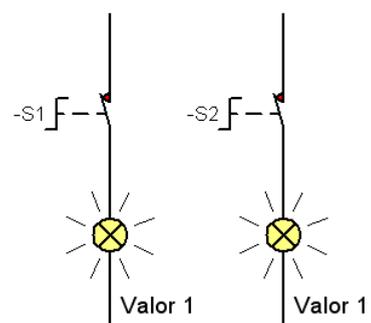
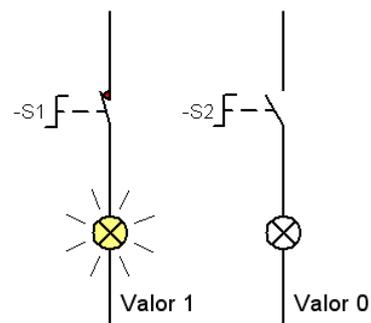
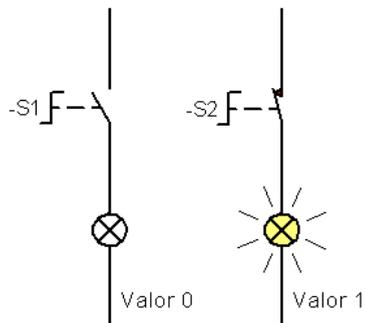
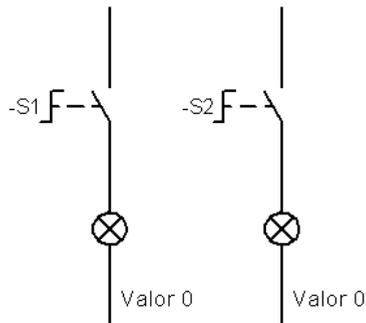


## Comunicación entre el ordenador y el autómeta. Carga de programas.

Mediante un valor binario se pueden representar dos valores, 0 y 1.



Si se quieren representar mas valores, lo que se puede hacer es añadir más elementos binarios e idear una especie de código.



A cada combinación se le puede asignar un número, de forma que se podrían representar el 0, el 1, el 2 y el 3.

0 0 = 0

0 1 = 1

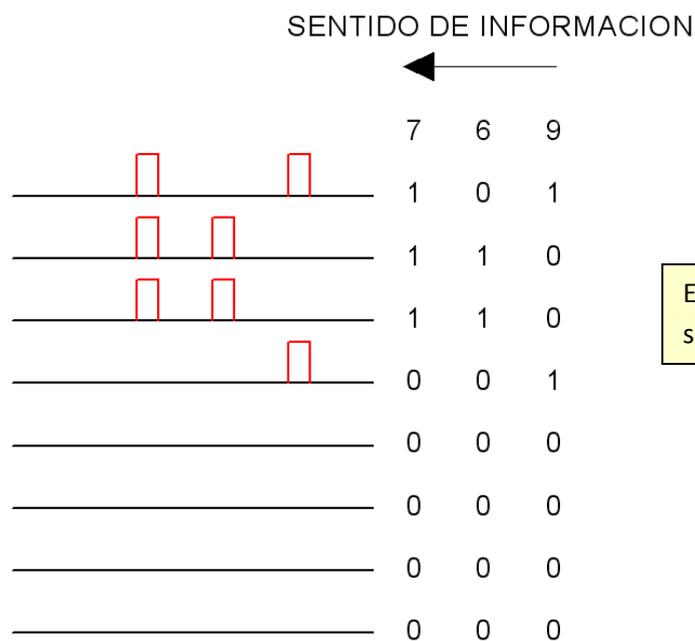
1 0 = 2

1 1 = 3

Si en vez de 2 lámparas se utilizasen 3 lámparas se podrían conseguir 8 valores, desde el 0 hasta el 7.

Con 8 cables en paralelo se pueden representar 256 valores, de forma que se pueden enviar los números del 0 al 9 y el resto de caracteres del tipo letras y aquellos que se representan en un teclado de ordenador.

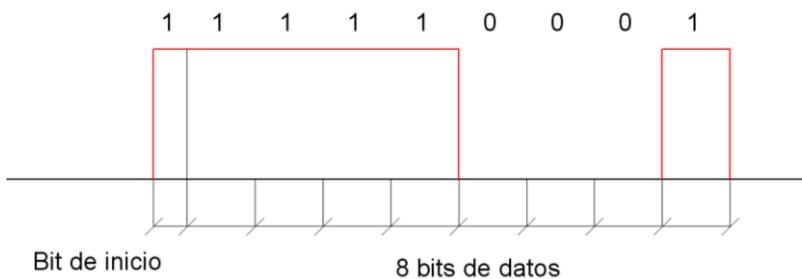
En vez de utilizar pulsadores manuales se utilizan interruptores electrónicos con conmutaciones muy rápidas.



En este caso se estaría enviando el número 967; el cual se almacenaría en la memoria del receptor.

El tipo de transmisión anterior se llama transmisión en paralelo y se utiliza por ejemplo en la comunicación del ordenador con la impresora.

Pero también se pueden enviar los datos por un solo cable de la siguiente manera.



Cada dato formado por 8 bits tiene una duración determinada. Cada bit tiene también una duración determinada.

El receptor sabrá cuanto dura una transmisión de un dato. Cuando un emisor vaya a enviar información emitirá un bit de duración de la mitad de un bit de dato; esto le indicara al sistema que va a llegar un dato de 8 bits. Si el dato a emitir va a tardar 8 milisegundos en enviarse, al acabar dichos 8 milisegundos el receptor ha memorizado los ceros y unos que le han llegado. Esta sería por ejemplo una forma de enviar la información, existen otras.

Por ejemplo, en una transmisión a 9600 baudios se transmiten 9600 bits por segundo. Cada bit tardara en transmitirse 1/9600 segundos. Al empezar la transmisión de un dato el receptor detecta un 1 que dura la mitad de la anterior cifra (1/19200 segundos) y sabe que se va a transmitir un dato de 8 bits cuya duración de cada bit es de 1/9600 segundos; la duración total del dato será de 8/9600 segundos.

En un segundo (sin tener en cuenta los bits de inicio) se podrían enviar 1200 caracteres.

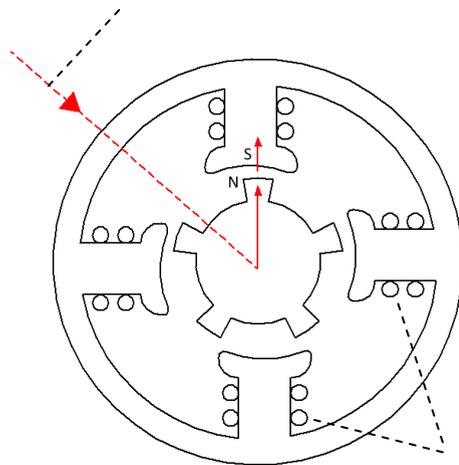
En el caso de la transmisión paralela por cada impulso de información se envía un dato mientras que en la serie se necesitan 8 impulsos (mas el bit de inicio) para enviar el mismo dato. En cambio para la transmisión paralela se necesitan 8 cables (y masa) mientras que para la serie se necesita un cable solo (y masa).

En definitiva lo que se hace al crear un programa es escribir las instrucciones en un lenguaje amigable. El programa va a traducir dichas instrucciones a un lenguaje de ceros y unos que es el único que entiende el autómeta. Al transferir el programa lo que esta haciendo el ordenador es enviar dichos ceros y unos por el cable a una velocidad muy alta al autómeta donde queda almacenado en una memoria interna.

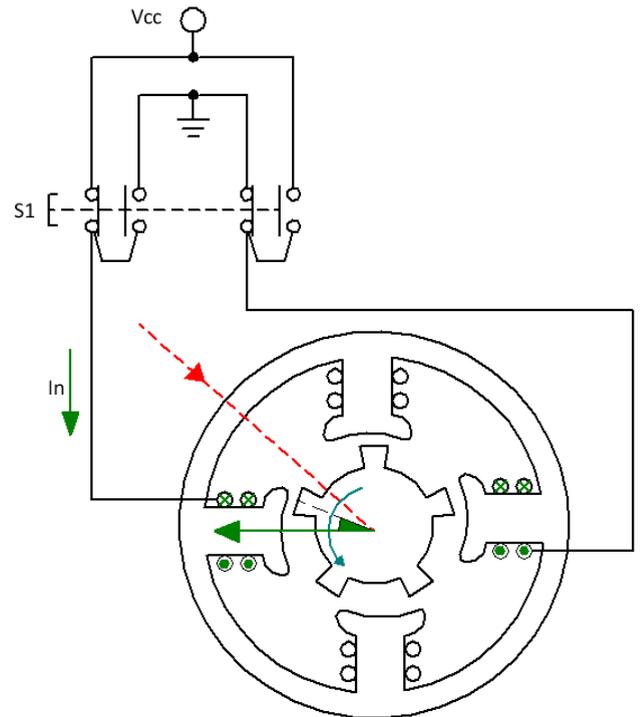
## Motor de pasos.

El rotor del motor de pasos es un imán permanente dentado magnetizado en dirección axial (es decir, se magnetiza el rotor en la dirección del eje del motor; por eso se ve en el dibujo que las ranuras del estator son polos sur en este ejemplo). Dicho rotor tiende a colocarse de tal modo que la resistencia magnética sea mínima; en consecuencia, incluso estando el motor parado, se tiene un par de mantenimiento, que puede ser mayor que el par motor en servicio.

Se magnetiza el rotor en la dirección del eje del motor

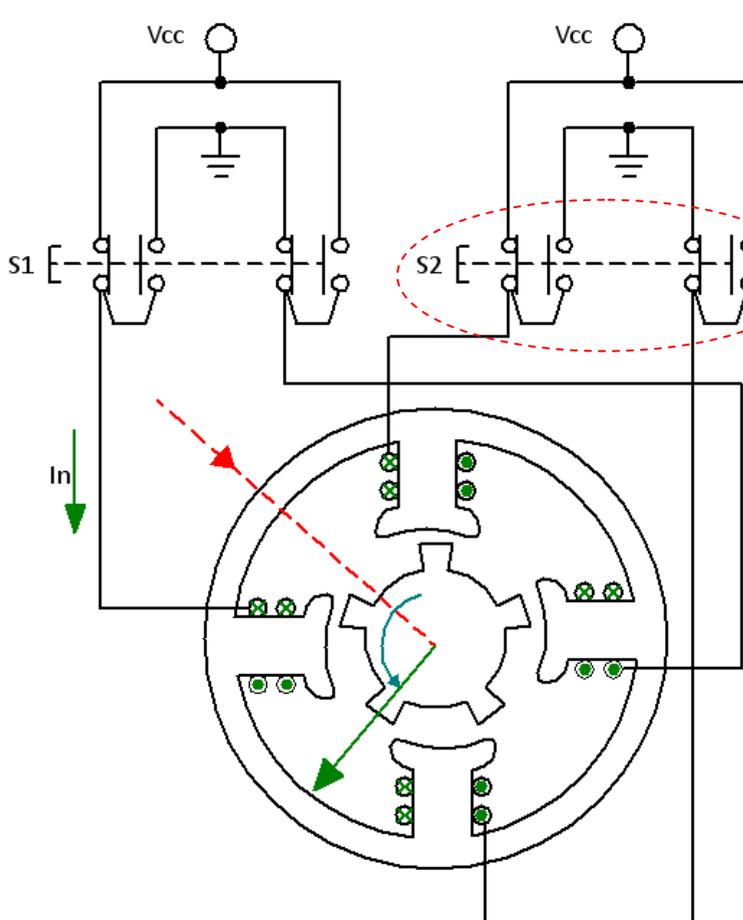


Devanados sin circulación de corriente



Como se puede ver, al circular corriente por un bobinado, el rotor se alinea con dicho campo por el principio de minimizar la longitud de las líneas de campo magnético, y se mueve un paso (un ángulo determinado).

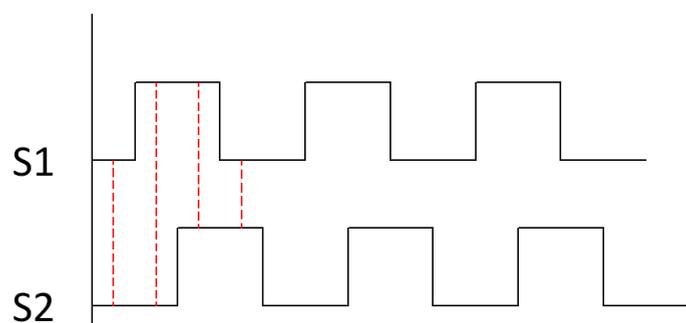
Si en vez de un bobinado se colocan dos en cuadratura y se le da una secuencia determinada a las corrientes para producir un campo giratorio, el rotor girará un paso por cada pulso de corriente que se le de a los bobinados.



Circuito para invertir el sentido de la corriente

¿Cómo será la secuencia de conmutación de los pulsadores S1 y S2 para que se produzca un campo giratorio?

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| S1 no accionado, S2 no accionado: | $S1 = 0, S2 = 1$  |
| S1 accionado, S2 no accionado:    | $S1 = 1, S2 = 0.$ |
| S1 accionado, S2 accionado:       | $S1 = 1, S2 = 1.$ |
| S1 no accionado, S2 accionado:    | $S1 = 0, S2 = 1.$ |



Los dos trenes de impulsos aplicados a las bobinas del estator están desfasados 90 grados.

En los motores de pasos el rotor gira un Angulo determinado por cada paso.

En nuestro ejemplo anterior el Angulo entre dientes es de 72 grados (360 grados / 5).

En cuatro pulsaciones del campo estático el rotor girara un Angulo de 72 grados. Por lo tanto en cada pulsación del campo estático (y con él el rotor) girara un Angulo de 18 grados (72 grados / 4).

La velocidad del rotor la podemos obtener según la siguiente expresión.

$$n = \frac{\alpha \cdot f_{\text{pasos}}}{360^\circ}$$

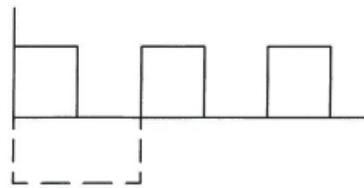
ángulo de paso (depende del número de ranuras del rotor)  
velocidad de giro  
frecuencia de pasos (pulsos) del estator

Si se tiene una frecuencia de pulsación de 720 Hz (720 ciclos / segundo o 720 pulsos / segundo).

$$n = \frac{18^\circ / \text{pulso} \cdot 720 \text{ pulsos} / \text{segundo}}{360^\circ / \text{vuelta}} = 36 \text{ vueltas} / \text{segundo}$$

El Angulo de paso es el Angulo que gira el rotor en cada pulsación.

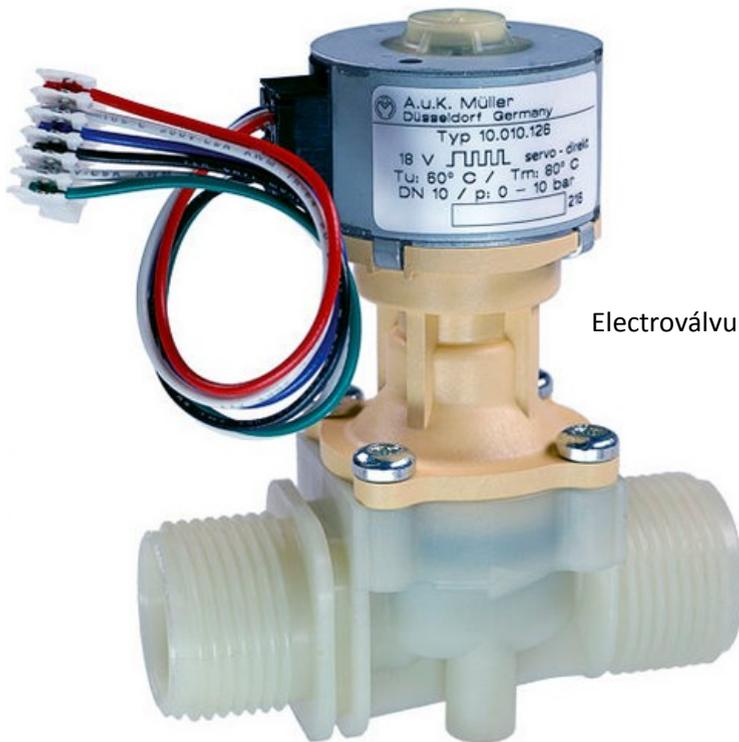
La frecuencia de pasos es el número de pulsos por segundo que se le envían al devanado del motor.



Se emplean motores de hasta unos 500 W para el posicionado de maquinas herramienta.

Para regular la velocidad de este motor se tendrá que variar la frecuencia de los pulsos que se le envían al estator.

Desde un autómatas se le pueden enviar **trenes de impulsos** a estos motores para controlarlos.



## Grafcet.

En la práctica son muchos los procesos que implican la realización de una serie de actividades u operaciones, siguiendo una determinada secuencia. Dichas actividades y los dispositivos empleados para ejecutarlas pueden ser de índole muy diversa, incluyendo partes lógicas, analógicas, cálculos aritméticos, manipulación de datos, etc... ;pero el desarrollo del proceso consiste casi siempre **en una sucesión encadenada de operaciones, cuya evolución se controla mediante unas condiciones de tipo lógico, que indican si el proceso puede continuar y cómo**. Lo anterior se puede realizar de forma intuitiva o se puede sistematizar por medio de útiles de tipo grafico que lo que hacen es ayudarnos a que la programación se realice de forma mas racional. Entre esos útiles están el diagrama de flujo y el Grafcet.

El GRAFCET es un modelo gráfico de representación y especificación del funcionamiento de los sistemas comandados por los controladores lógicos. Este modelo de especificación solamente describe el comportamiento deseado, sin detallar la tecnología con que se realice la implementación real. Fue bautizado como GRAFCET debido a GRAFico de de Control Etapa – Transición. Esta normalizado por la norma IEC – 848 denominada Sequential Function Chart.

## Elementos básicos del GRAFCET.

### Etapas.

Representa cada uno de los estados del sistema.

Se empieza por la etapa 0, que se representa por un cuadrado insertado dentro de otro cuadrado. Generalmente suele ser la posición de reposo del automatismo (cuando la maquina esta parada).

### Líneas de evolución.

Unen entre sí las etapas que representan actividades consecutivas.

### Condiciones de transición.

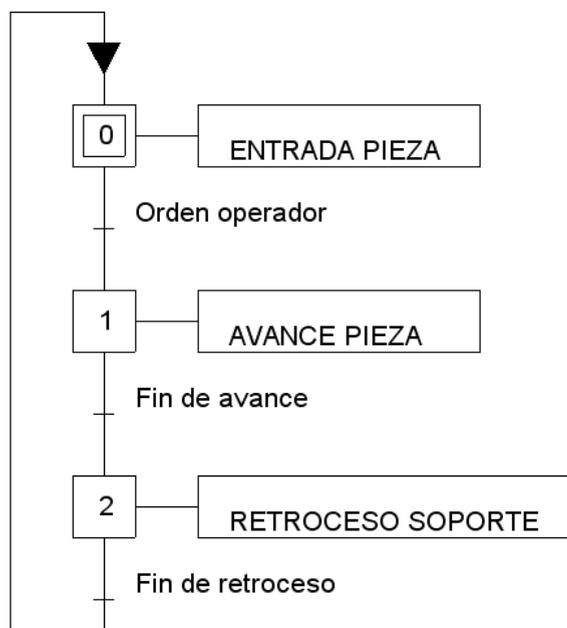
Representan las condiciones lógicas necesarias para que finalice la actividad de una etapa y se inicie la de la etapa o etapas inmediatamente consecutivas.

### Reenvíos.

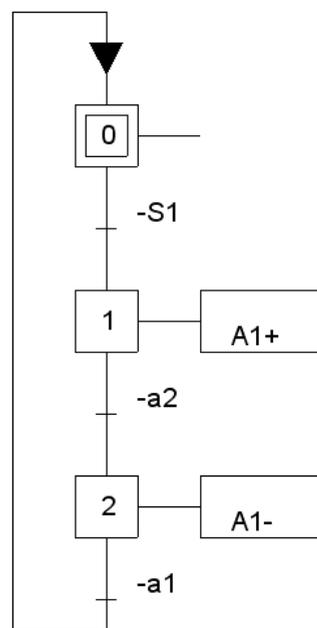
Son símbolos en forma de flecha que indican la procedencia o destino de las líneas de evolución.

### Acciones asociadas a etapas.

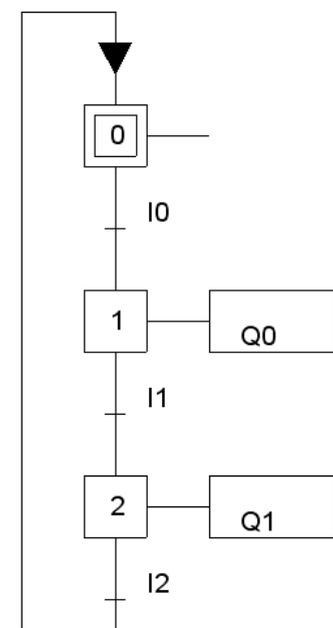
Niveles del GRAFCET.



DESCRIPCION FUNCIONAL



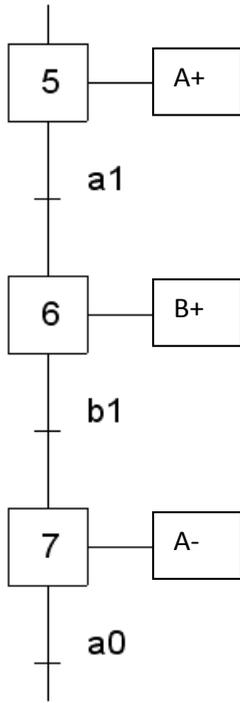
DESCRIPCION TECNOLOGICA



DESCRIPCION OPERATIVA

### Secuencia lineal.

Una secuencia es una sucesión alternada de etapas y transiciones en la que las etapas se van activando una detrás de otra.



### Reglas de evolución:

Cuando se recorre el gráfico de evolución por cualquier camino posible, deben alternarse siempre una etapa y una transición. La regla básica de sintaxis del GRAFCET es que entre dos etapas debe existir una y solo una condición de transición, bien entendido que esta puede venir expresada por una función lógica combinacional todo lo compleja que sea necesario (ecuación lógica) siempre que de cómo resultado un bit (1 = condición verdadera, 0 = condición falsa).

Durante la evolución normal del proceso, una etapa no inicial se activará cuando esté activada la etapa anterior y se cumplan las condiciones de transición entre ambas.

Cualquier etapa se desactiva cuando se cumplan las condiciones de transición a la siguiente o siguientes y dicha transición se haya efectuado

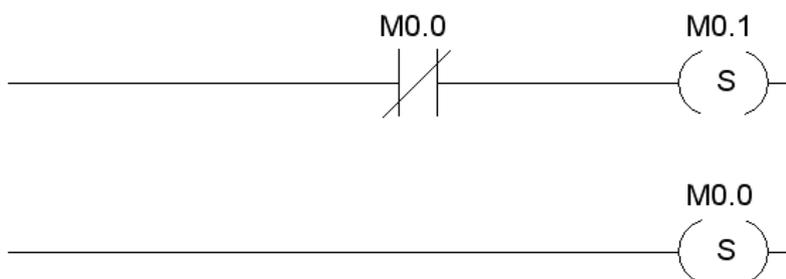
El gráfico de evolución expresado en GRAFCET debe ser siempre cerrado, sin dejar ningún camino abierto. En efecto, tal circunstancia mostraría una incoherencia o una situación en la que el proceso es incapaz de continuar.

### Activación de etapas iniciales.

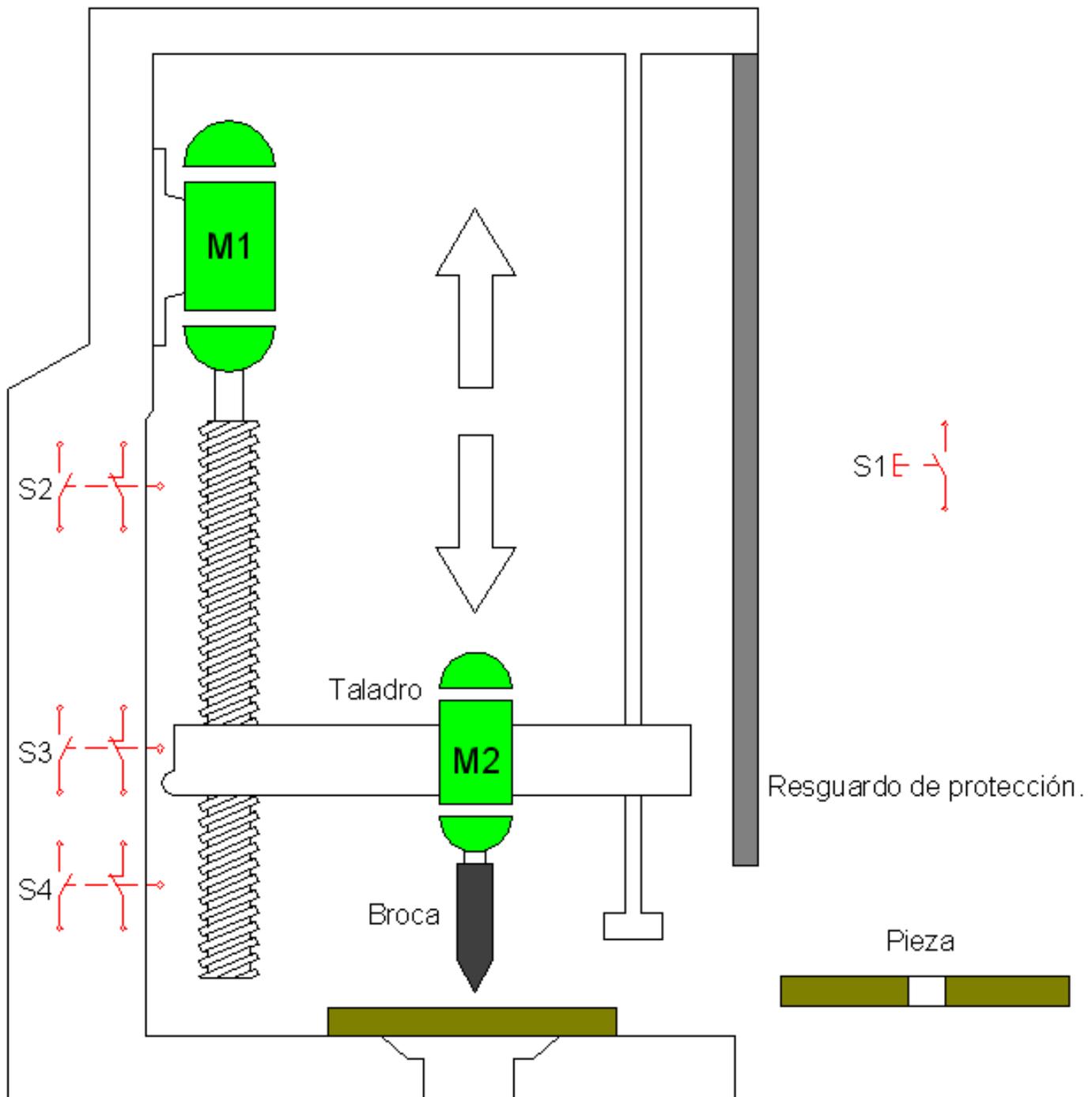
La mayoría de los autómatas tienen una marca interna que se activa momentáneamente (un impulso) en el momento de la puesta a RUN del autómata, con esta marca ponemos a 1 la marca M0.0.

En el caso del SIMATIC S7200 la marca es la SM 0.1.

En el caso de autómatas que no tengan esta marca interna procederemos aplicando un impulso de entrada a la marca M0.0 como sigue.



## Ejemplo de taladro.



El funcionamiento del taladro será el siguiente:

Al accionar el pulsador S1 el motor M1 se pone a girar a izquierdas de forma que el bastidor del motor M2 comienza a descender. M2 también se activa al accionarse el pulsador S1.

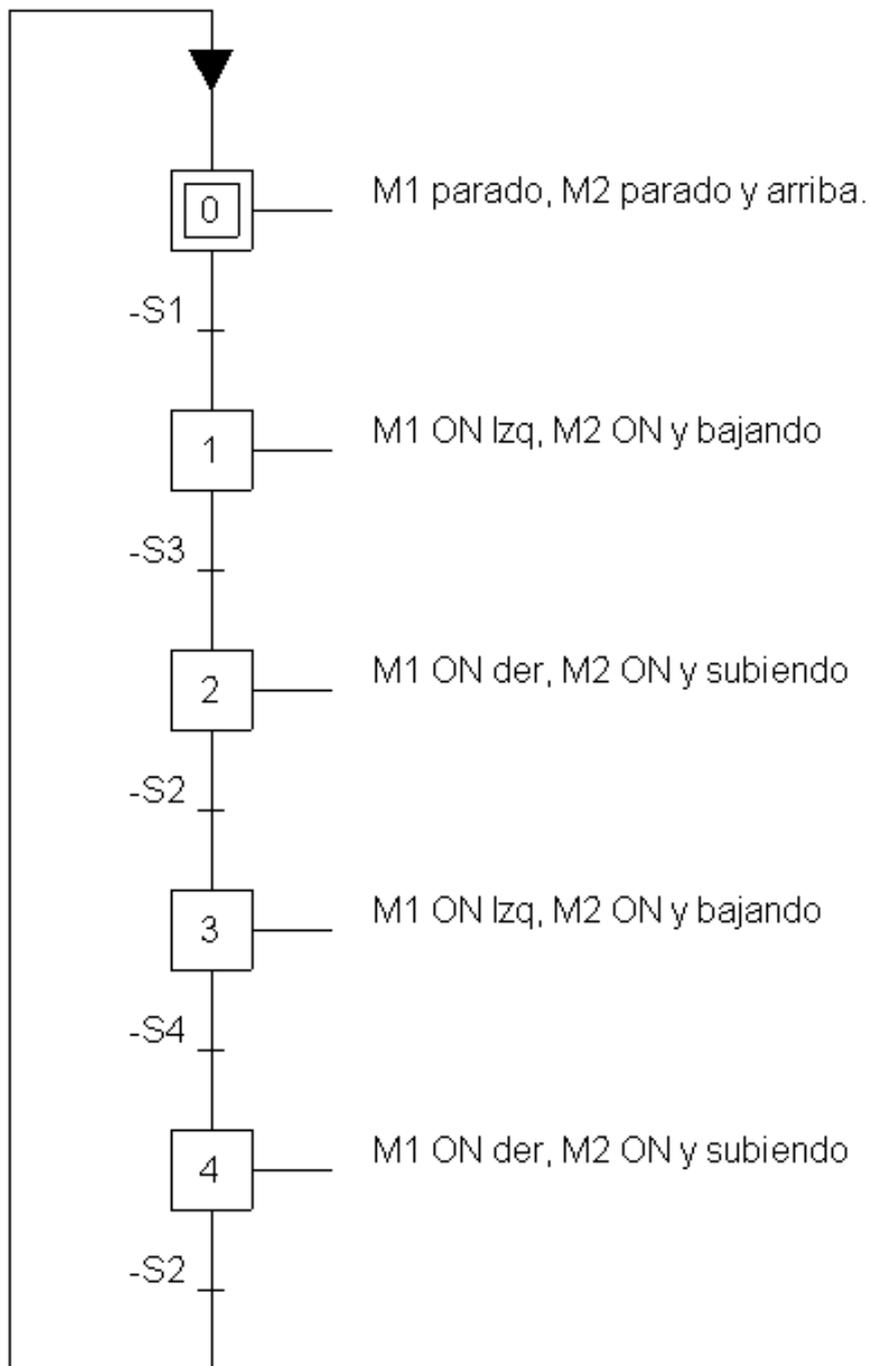
Al llegar (el bastidor) al final de carrera S3 el motor M1 comienza a girar a derechas de forma que el motor M2 comienza a ascender. M2 sigue girando en el mismo sentido.

Al llegar (el bastidor) al final de carrera S2 el motor M1 comienza a girar a izquierdas de forma que el motor M2 comienza a descender de nuevo. M2 sigue girando en el mismo sentido.

Al llegar (el bastidor) al final de carrera S4 el motor M1 comienza a girar a derechas de forma que el motor M2 comienza a ascender. M2 sigue girando en el mismo sentido.

Por ultimo al llegar el bastidor al final de carrera S2 el taladro se para.

El motivo de esta secuencia es darle un tiempo a la broca para que se enfríe cuando se estén agujereando piezas de gran grosor.



### Implementación del programa.

Parte secuencial.

A cada etapa del GRAFCET se le asigna una marca interna.

Se activa la marca 0 de inicio con la marca especial SM0.1.

Para que el proceso salte de una etapa a otra dicha etapa tiene que estar activada y cumplirse la transición.

Al saltar una etapa a otra la etapa anterior se desactiva.

Parte combinacional.

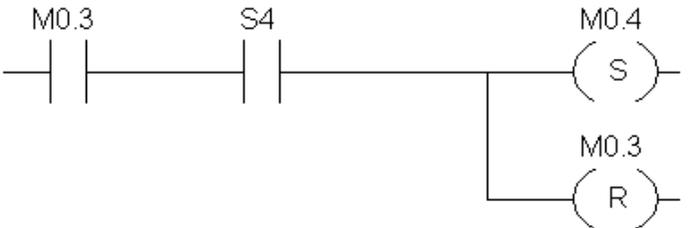
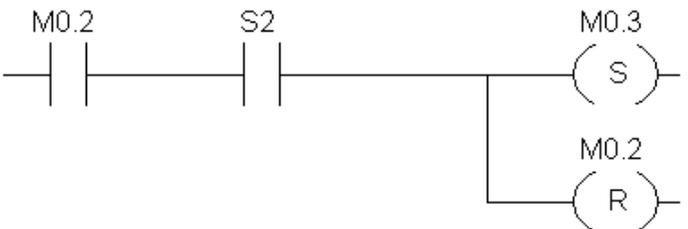
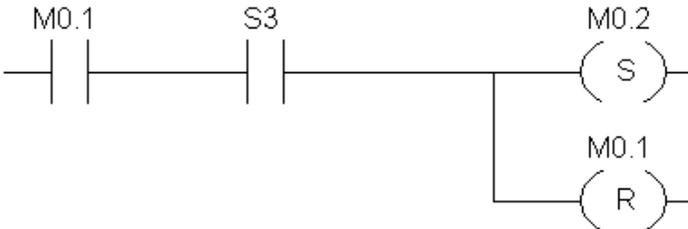
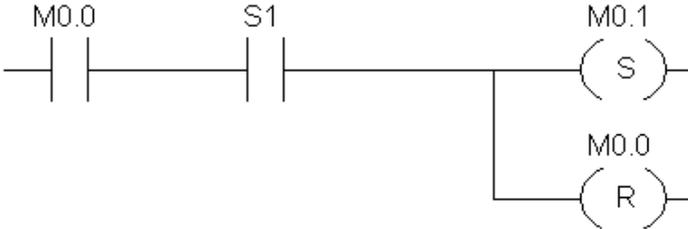
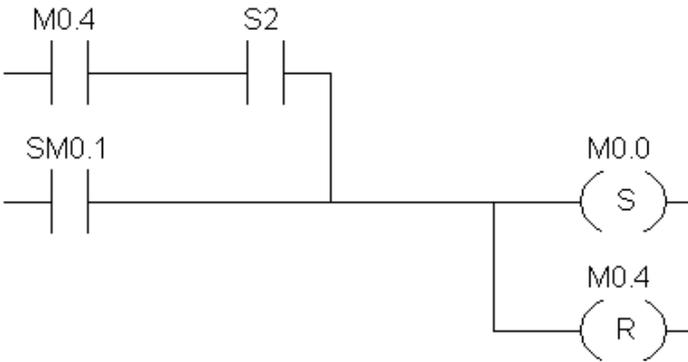
Las marcas de las etapas activaran las respectivas acciones a realizar (salidas físicas).

No se pueden repetir salidas con el mismo nombre.

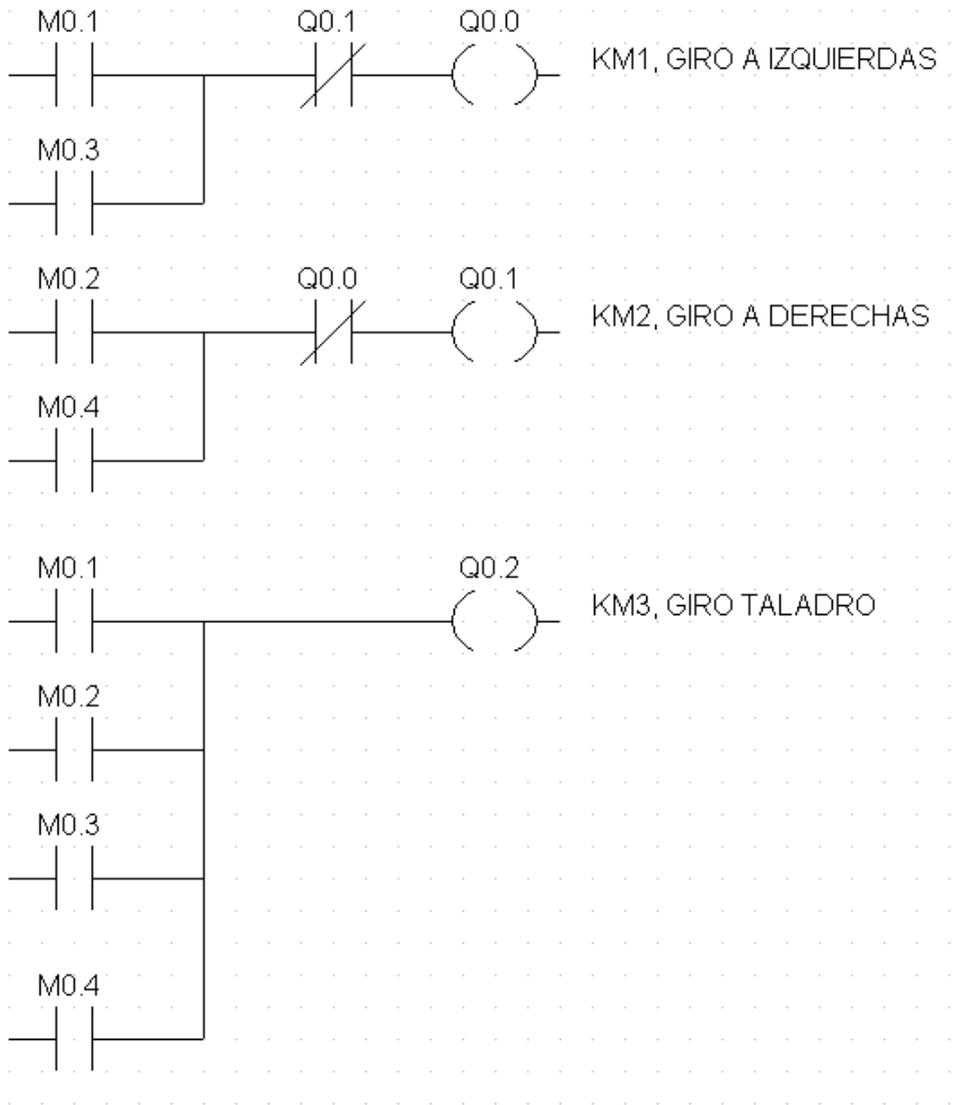
Los temporizadores activaran su conteo mediante alguna marca en la etapa apropiada.

Los contadores también se activaran en esta parte.

PARTE SECUENCIAL.



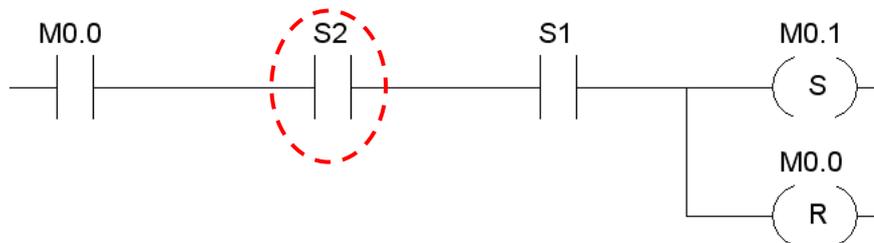
## PARTE COMBINACIONAL.



### Importante.

Incluir al final las seguridades correspondientes (por ejemplo, enclavamientos). Otra seguridad sería por ejemplo que si no hay una pieza para agujerear colocada, el automatismo no pueda funcionar hacia abajo para que no haya aplastamiento de brazos. Para eso se colocará otro final de carrera en la base del taladro.

Incluir también las condiciones de inicio para que el sistema no se pueda poner en funcionamiento si no está en la posición inicial. En el ejemplo S2 tiene que estar activado para que el automatismo pueda comenzar.



### Rearranques en frío y en caliente.

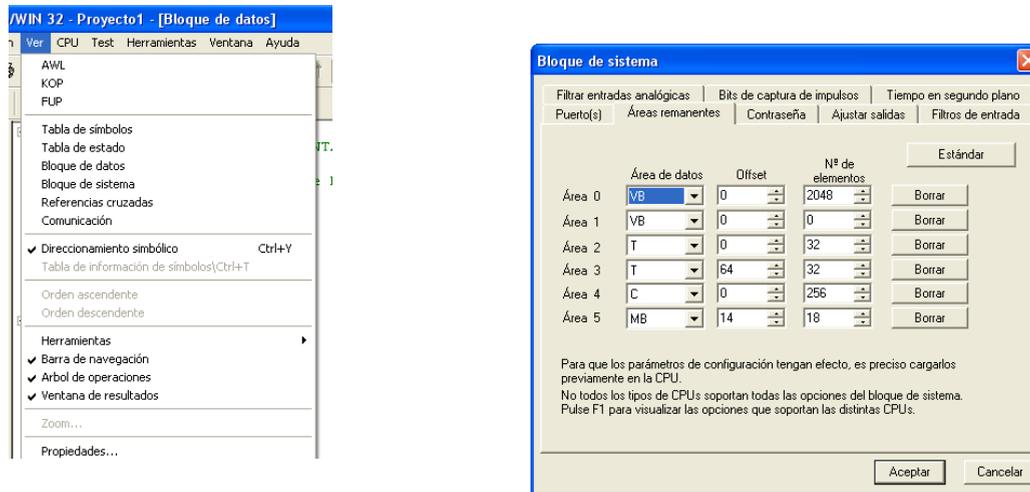
En el momento en que se está desarrollando el GRAFCET si se produce una pérdida de alimentación al autómeta se pueden dar dos alternativas.

Al volver a poner en funcionamiento el automatismo, que este se tenga que llevar a una posición determinada por motivos de seguridad (generalmente la posición inicial). Por ejemplo, en una sierra de cortar madera si se interrumpe la alimentación cuando la sierra esta cortando si se activa el automatismo en esta posición puede producir la rotura de dicha sierra ( lo mismo para taladros, fresas, etc...) En este caso le aplicaremos un re arranque en frío; es decir, se llevara al sistema a su posición inicial de modo manual o de alguna manera y se volverá a desarrollar el grafcet desde el principio al volver la alimentación al autómeta.

La otra opción es que al volver a poner en funcionamiento el automatismo este se tenga que reanudar en la posición en que quedo. En este caso le aplicaremos un re arranque en caliente y para ello tendremos que usar variables remanentes; que son las que quedan almacenadas en memoria en el caso de un fallo de alimentación de red.

## Áreas remanentes en el Simatic S7-200.

Haga clic en el botón "Bloque de sistema" de la barra de navegación.



Haga clic en la ficha "Áreas remanentes" para seleccionar las áreas de memoria que se deberán respaldar cuando se interrumpa la alimentación. Introduzca nuevos valores para las memorias V, M, T o C y cargue luego los cambios en la CPU.

Consejo:

Los límites de direcciones numéricas para la asignación de áreas remanentes varían en función del tipo y la versión de la CPU. Ajuste el tipo de CPU de destino utilizando el comando de menú CPU > Tipo para habilitar la comprobación de errores y para que los valores cargados con el botón "Estándar" concuerden con los valores reales de la CPU de destino.

Por defecto, las memorias V, M, T y C se ajustan como remanentes. No obstante, es posible redefinir los márgenes para que algunas áreas sean no remanentes. Estas asignaciones configuran la inicialización de la desconexión y conexión de la alimentación.

## Respaldo de datos tras un corte de alimentación de la CPU

Se pueden definir hasta seis áreas remanentes para seleccionar las áreas de memoria que se deban respaldar cuando se interrumpa la alimentación. Es posible determinar que sean remanentes los márgenes de direcciones en las áreas de memoria V, M, C y T. En el caso de los temporizadores, sólo se pueden respaldar los temporizadores con memoria (TONR). Además, únicamente los valores actuales de los temporizadores y contadores se pueden definir como remanentes. Los bits de temporización y contaje se ponen a 0 en cada arranque de la CPU.

La CPU tiene un condensador que conserva todos los datos de la memoria RAM tras un corte de alimentación. Algunos modelos de CPUs soportan un cartucho de pila opcional que prolonga el tiempo durante el cual se puede respaldar la memoria RAM. El cartucho de pila se activa sólo cuando se descarga el condensador de alto rendimiento.

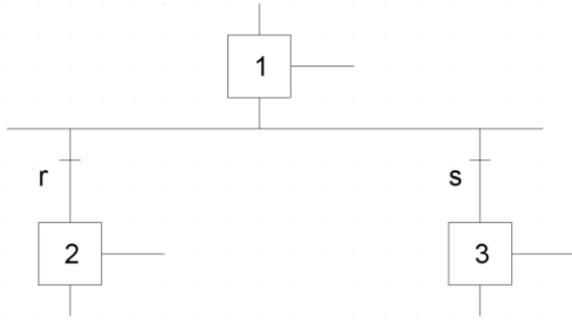
Si se produce un corte de alimentación y se define que los primeros 14 bytes del área de marcas (MB0 a MB13) sean remanentes, se copiarán automáticamente en la EEPROM cuando se produzca un corte de alimentación de la CPU.

Cuando se conecta la alimentación, la CPU comprueba la memoria RAM para verificar si el condensador de alto rendimiento o la pila han respaldado los datos almacenados en la RAM. En caso afirmativo, no se modifican las áreas remanentes de la RAM. Las áreas correspondientes de la memoria V no volátil (en la EEPROM) se copian en las áreas no remanentes de la memoria V en la RAM de la CPU. El programa de usuario y la configuración de la CPU también se restablecen de la EEPROM. Todas las demás áreas de la RAM de la CPU se ponen a 0.

Cuando se conecta la alimentación, sin haberse respaldado el contenido de la RAM (p.ej. en el caso de un corte de alimentación prolongado), la CPU borra la memoria RAM (tanto las áreas remanentes como las no remanentes) y activa la marca "Datos remanentes perdidos" (SM0.2) en el primer ciclo que le sigue a la puesta en marcha. El programa de usuario y la configuración de la CPU se copian entonces de la EEPROM (E<sup>2</sup>) en la RAM de la CPU. Además, las áreas no volátiles de la memoria V en la EEPROM y de la memoria M (si se ha definido como remanente) se copian de la EEPROM en la RAM de la CPU. Todas las demás áreas de la RAM de la CPU se ponen a 0.

## Elecciones condicionales

Divergencia en O, **subprocesos alternativos**.

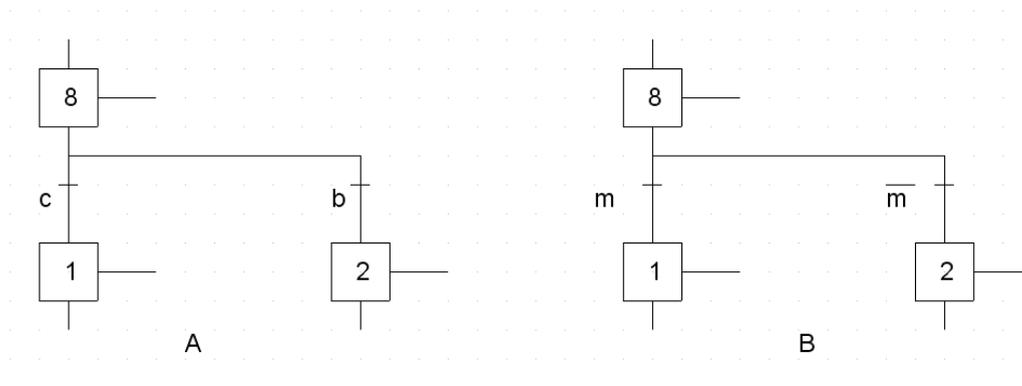


Se siguen cumpliendo las reglas dadas anteriormente para implementar el programa en un lenguaje de programación. Por ejemplo en diagrama de contactos sería lo siguiente:

## Paralelismo interpretado.

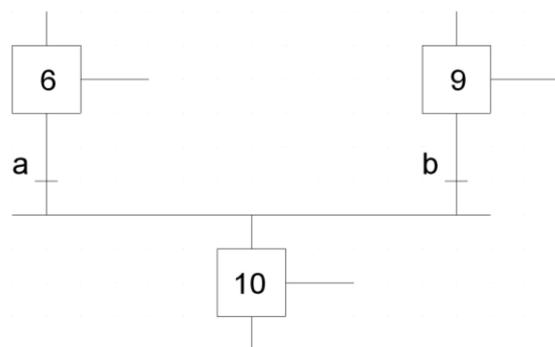
El paralelismo interpretado aparece cuando una etapa tiene dos (o más) salidas y las transiciones correspondientes no son excluyentes.

En la figura, si c y b son ciertas a la vez, se activarán las etapas 1 y 2 simultáneamente. Así pues si en la estructura de selección de secuencia no se garantiza que las receptividades son excluyentes, se tendrá un paralelismo interpretado en el caso de que ambas receptividades se hagan ciertas al mismo tiempo o en el caso de que ambas sean ciertas cuando se validen las correspondientes transiciones.



En algunas ocasiones, como es el caso de la figura B, esta situación se fuerza intencionadamente, de manera que siempre de lugar a secuencias paralelas mutuamente independientes.

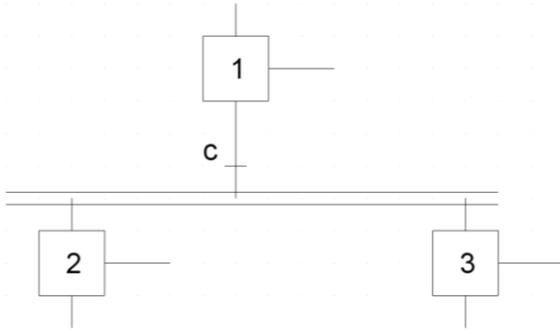
## Convergencia en o.



Hay que tener cuidado con esta estructura si las dos ramas no son excluyentes ya que podrían dar lugar a funcionamientos anómalos (**ver párrafo en rojo mas adelante**).

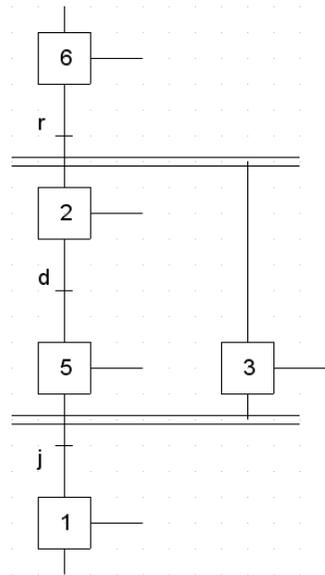
## Secuencias simultáneas

### Divergencia en Y.

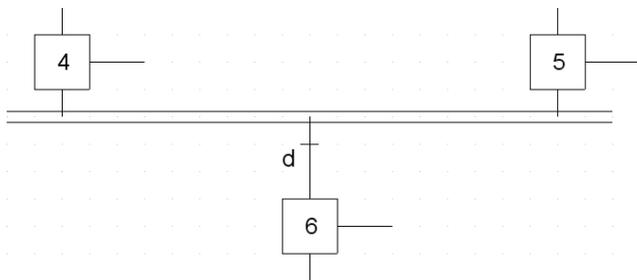


A la divergencia en Y también se le llama paralelismo estructural.

A partir de una determinada etapa, hay dos (o más) secuencias que se ejecutan simultáneamente.

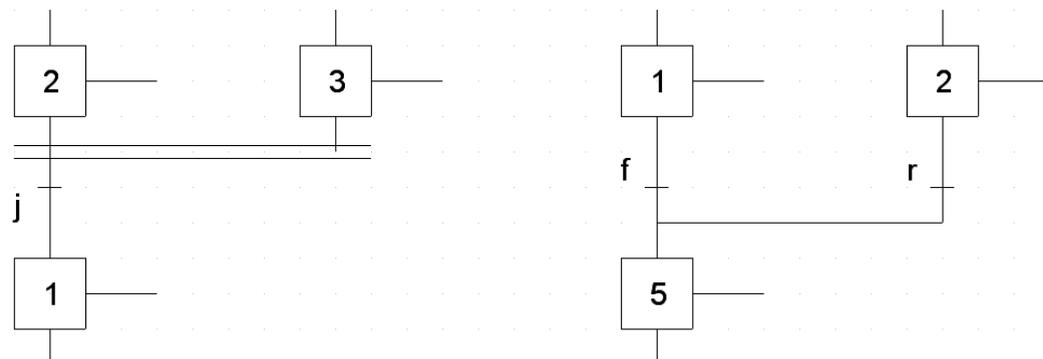


### Convergencia en Y.



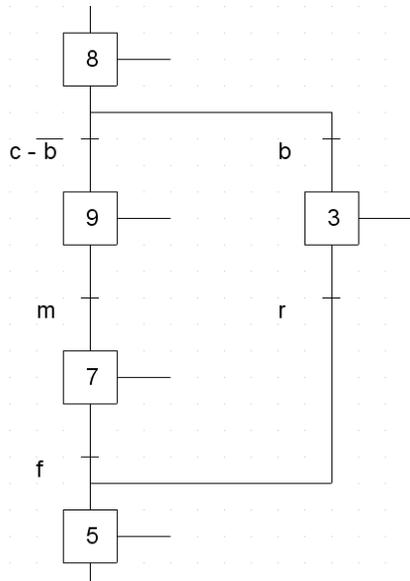
Hay una diferencia muy importante entre los dos tipos de paralelismos cuando convergen (el estructurado y el interpretado).

Fijémonos en las dos figuras. En el paralelismo estructural la transición no es válida (y, por tanto, no se puede pasar a la etapa 1) si no están activas las etapas 2 y 3. En cambio, en el paralelismo interpretado se pasará de 1 a 5 cuando f sea cierta (y la etapa 1 esté activa) aunque 2 no esté activa. De esta forma la secuencia común puede continuar evolucionando y, cuando 2 esté activa y r sea cierta, se volverá a activar 5. Así cada vez que se realice el paralelismo aparecerá una nueva etapa activa en el GRAFCET.



### Selección de secuencia.

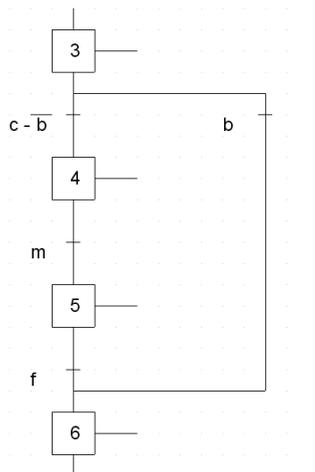
A partir de una determinada etapa, hay dos (o más) secuencias entre las que se escogerá en función de las transiciones.



En la selección de secuencia es imprescindible que las receptividades asociadas a las transiciones de selección, en el ejemplo las transiciones (2) y (7), sean excluyentes, es decir no puedan ser ciertas simultáneamente; por lo tanto las secuencias son alternativas.

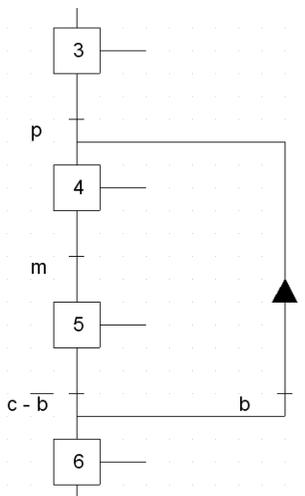
### Saltos condicionales a otras etapas.

Es un caso particular de selección entre dos secuencias en el que una de las secuencias no tiene ninguna etapa.



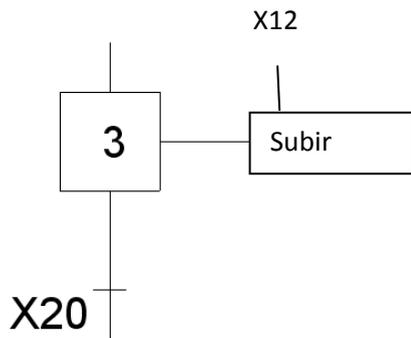
### Repetición de secuencia.

Es un caso particular del salto de etapas en el que el salto se realiza en sentido ascendente, de forma que se repite la secuencia de etapas anteriores al salto.



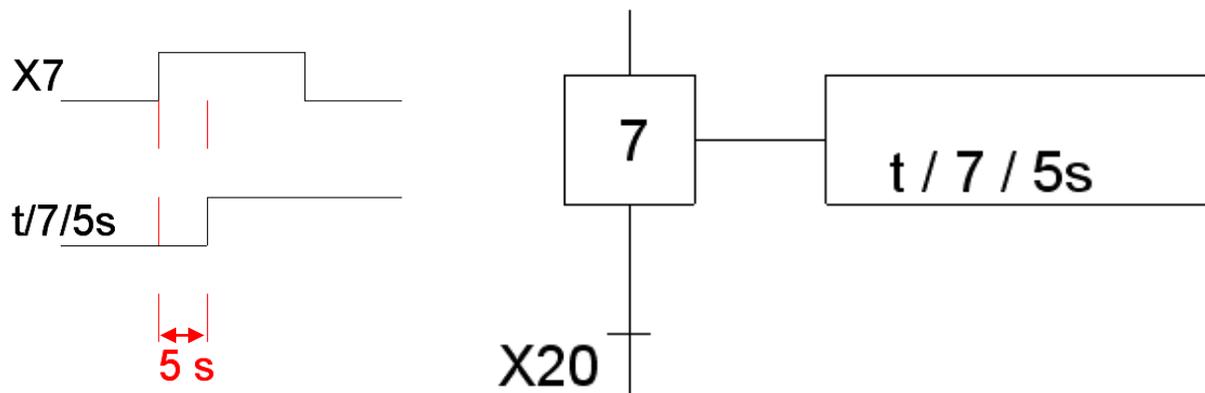
### Condicionamiento por etapas.

A menudo interesará imponer como condición, para una receptividad o una acción, el hecho de que una etapa esté activada o desactivada. Para referirnos a una etapa lo haremos con la letra X. Así en la figura la receptividad será cierta mientras la etapa 20 esté activa y sólo se realizará la acción cuando estén activas simultáneamente las etapas 3 y 12.

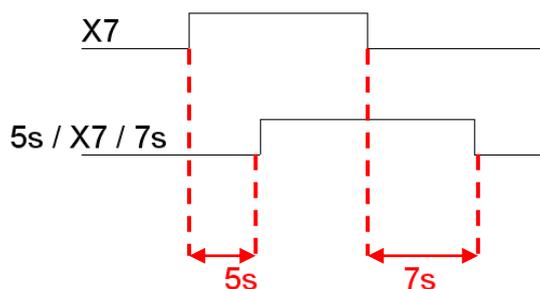


### Acciones y receptividades condicionadas por el tiempo.

La primera notación establece que la condición dependiente del tiempo consta de la letra t seguida de una barra, después hay el número de etapa que se toma en consideración, una nueva barra y el tiempo a considerar. Esta condición es cierta cuando el tiempo transcurrido desde la última activación de la etapa indicada supera el tiempo fijado. Por ejemplo la condición t/7/5s será cierta cuando hayan pasado cinco segundos desde la última activación de la etapa 7.

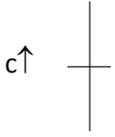


La segunda notación (fijada por la norma IEC-848) establece que la condición dependiente del tiempo consta de un primer valor (que llamamos t1) seguido de una barra, después hay una variable cualquiera, una nueva barra y el segundo valor de tiempo a considerar (que llamamos t2). Esta condición pasa de falsa a cierta cuando el tiempo transcurrido desde la última activación de la variable indicada supera el tiempo t1 y pasa de cierta a falsa cuando ha transcurrido un tiempo t2 desde la última desactivación de la variable considerada. Por ejemplo la condición 5s/X7/7s pasará a ser cierta cuando hayan pasado cinco segundos desde la última activación de la etapa 7 y volverá a falsa cuando hayan pasado siete segundos de la desactivación de la etapa 7. Sería un temporizador a la conexión/desconexión.

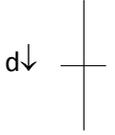


### Receptividades condicionadas por flancos.

En el ejemplo siguiente la receptividad es cierta en el instante en el que la variable c pasa de desactivada a activada



En este caso la receptividad es cierta en el instante en el que la variable b pasa de activada a desactivada.



### Macroetapas.



En la figura siguiente se ha representado el símbolo de una macroetapa (macroetapa M3). La macroetapa no es una etapa de un GRAFCET ni actúa como tal sino que es una representación de un GRAFCET parcial (expansión de la macroetapa) que ha de poderse insertar en substitución de la macroetapa. Una macroetapa está activa cuando lo está una (o más) de les etapas de su expansión.

Las macroetapas por ejemplo en el Simatic S7200 se pueden equiparar a las subrutinas que se integran en este autómeta.

Una subrutina podría ser el código de la activación de un motor mediante un arranque estrella-triangulo. Esta subrutina podría estar inmersa en una automatización que tuviese que arrancar un motor varias veces. En vez de escribir el código cada vez que se tuviese que activar el motor (en una programación lineal) se escribe éste una sola vez en una subrutina y se llama a esta subrutina cada vez que se necesite arrancar el motor.

## Grafcet's parciales y globales.

Un automatismo puede ser representado mediante más de un GRAFCET conexo (Un GRAFCET es conexo cuando se puede ir de una etapa cualquiera a otra etapa cualquiera siguiendo caminos propios del GRAFCET; es decir, que cualquier etapa está unida con otra del mismo GRAFCET). Llamamos GRAFCET parcial a cada uno de los GRAFCET's conexos que forman un sistema. También constituye un GRAFCET parcial cualquier agrupación de dos o más GRAFCET's parciales; incluso la agrupación de todos ellos. Cada GRAFCET parcial se llama mediante la letra G seguida de un nombre (por ejemplo GProd) o de un número (por ejemplo G3). Se llama GRAFCET global a la agrupación de todos los GRAFCET-s parciales de un sistema.

## Jerarquía y forzado.

Cuando un sistema está constituido por varios GRAFCET's parciales, es posible que un GRAFCET fuerce el estado de otro.

Las reglas de jerarquía definen las condiciones de diseño de sistemas jerarquizados. Estas reglas son dos:

Si un GRAFCET tiene la posibilidad de forzar a otro, este no tiene ninguna posibilidad de forzar al primero.

En todo instante, un GRAFCET sólo puede ser forzado por otro GRAFCET.

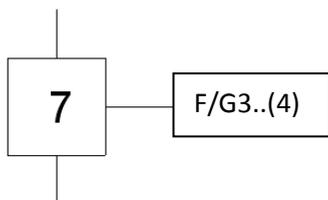
Las reglas de forzado fijan la forma de interpretar una orden de forzado. Estas reglas son dos:

El forzado es una orden interna que aparece como consecuencia de una evolución. En una situación que comporte una o más órdenes de forzado, los GRAFCET's forzados deben pasar en forma inmediata y directa a la situación forzada.

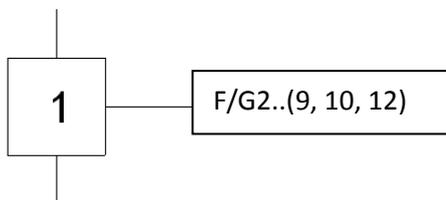
En cualquier cambio de situación, el forzado es prioritario respecto a cualquier otra evolución. Las reglas de evolución del GRAFCET no se aplican en los GRAFCET's forzados.

La representación de la orden de forzado se hace con la letra F seguida de una barra, a continuación se indica el nombre del GRAFCET que se desea forzar, dos puntos y la situación deseada (etapas que han de estar activas) escrita entre llaves. Esta orden irá dentro un recuadro de acción trazado con línea discontinua.

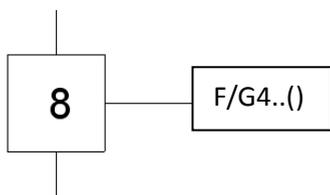
Por ejemplo, al activarse la etapa 7, el GRAFCET G3 pasa a tener activada la etapa 4 (y solo la etapa 4 y se mantendrá en esta situación hasta que se desactive la etapa 7.



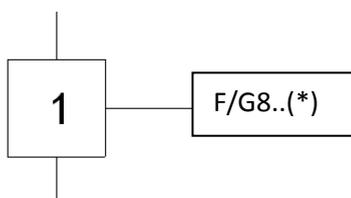
En este caso, al activarse la etapa 1, el GRAFCET G2 pasa a tener activadas las etapas 9, 10 y 12 y se mantendrán en esta situación hasta que se desactive la etapa 7.



Al activarse la etapa 8, el GRAFCET G4 pasa a tener todas sus etapas desactivadas y se mantendrá en esta situación hasta que se desactive la etapa 8. Después habrá que forzarle alguna etapa dado que si no continuara indefinidamente sin ninguna etapa activa.

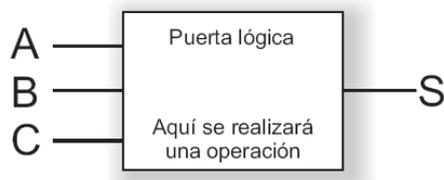


Mientras este activa la etapa 1, el GRAFCET G8 deberá mantenerse en la situación actual invariablemente.



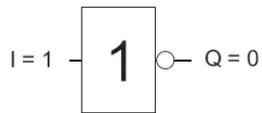
## Programación con puertas lógicas.

Para representar las funciones lógicas con las que se va a componer un automatismo se utilizan unos símbolos llamados puertas lógicas que derivan de los elementos utilizados en electrónica. El símbolo es el siguiente, donde se pueden observar una serie de entradas (A,B,C) un rectángulo donde se realizará una operación y una salida (S) que reaccionara a dicha operación de alguna manera.

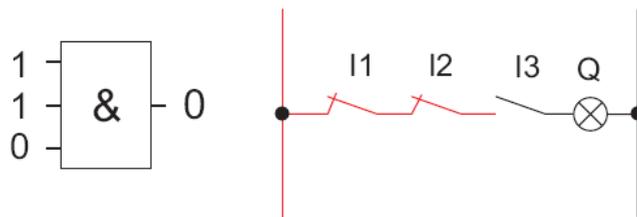


## Funciones que vienen implementadas en los distintos autómatas.

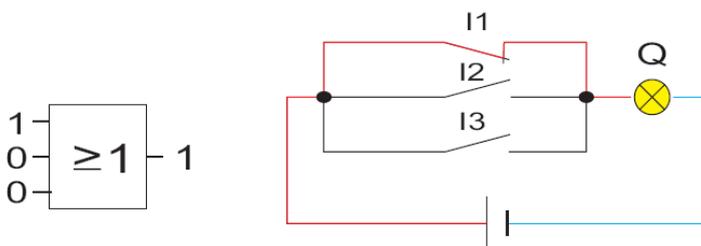
Función NOT.



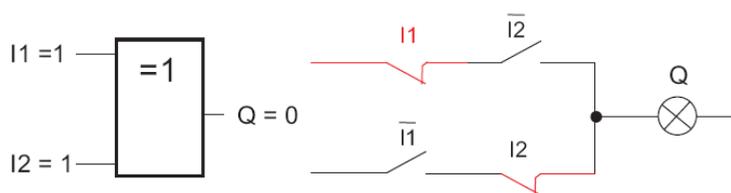
Función (Y).



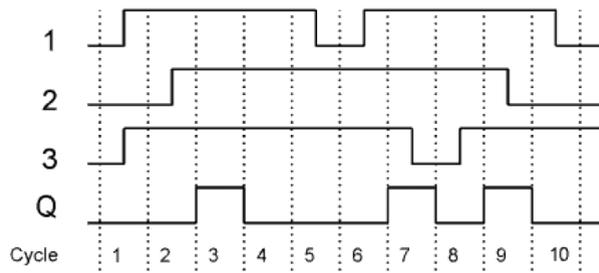
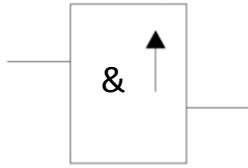
Función OR (O).



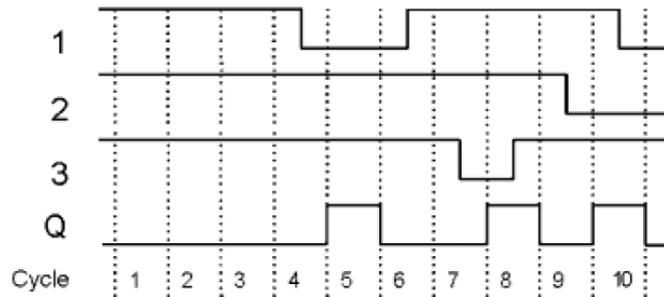
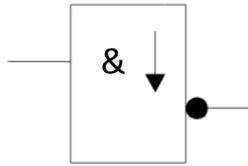
Función OR exclusiva (XOR).



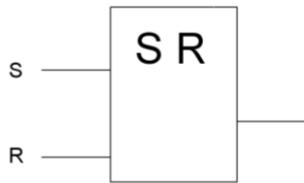
Función flanco positivo.



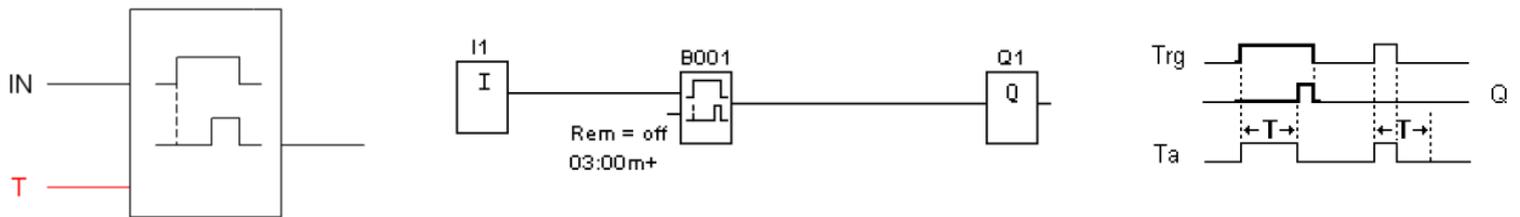
Función flanco negativo. Es importante para **desacoplar** pulsaciones cortas de pulsaciones largas en pulsadores.



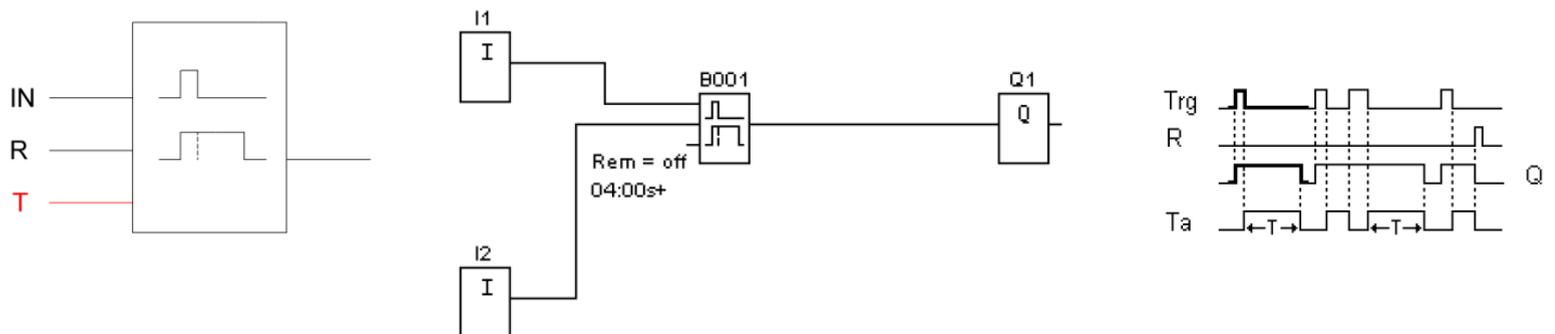
Función Set-Reset. Es importante por ejemplo en la **implementación** de GRAFCET's. Transforma señales de impulso de pulsadores en señales permanentes.



Función retardo a la conexión. **Después de que pasen 3 minutos se activara una luz por ejemplo.**

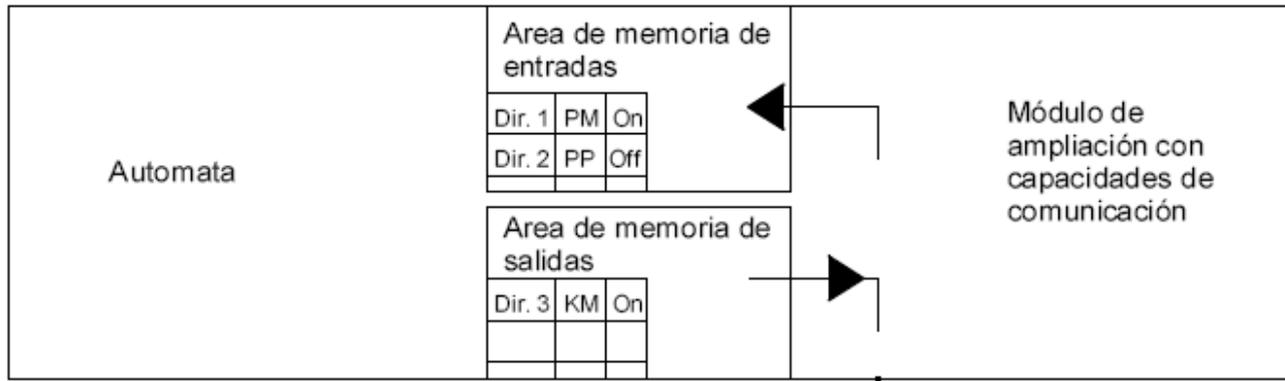


Función retardo a la desconexión. Es análogo a un **minutero de escalera**.



## Control descentralizado mediante PLC.

Se realiza mediante un bus de comunicaciones.

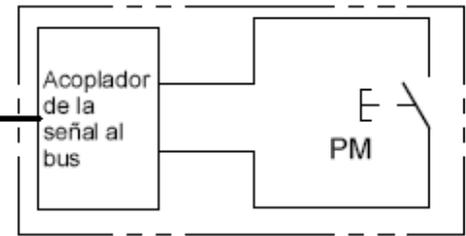


En el control descentralizado las señales que tiene que procesar el PLC le vienen vía serie, es decir, una detrás de otra, por medio de un bus de comunicaciones. Estas señales están protocolizadas mediante un formato de telegramas determinado.

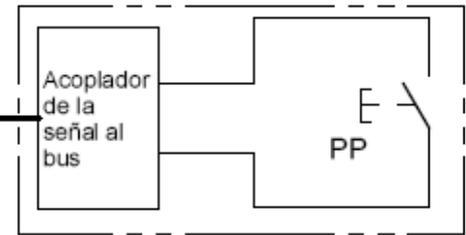
Los distintos elementos de campo tienen un circuito electrónico que traduce las señales que generan a una señal serie con un protocolo de comunicación determinado (según el tipo de bus utilizado) que inyectan en el bus.

En ese telegrama aparte de la información sobre el estado del elemento de campo también va información sobre la dirección que ocupa dicho elemento en la red de forma que el procesador de comunicaciones al leer la información que le llega del bus sabe que elemento le está enviando dicha información.

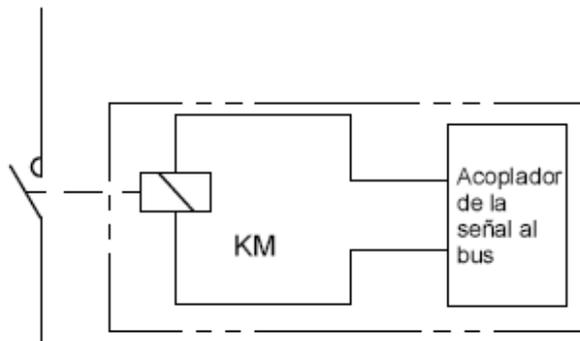
Según lo anterior el automático tiene que leer en las salidas internas del módulo de comunicaciones correspondientes a las entradas para realizar el programa y escribir las salidas en las entradas internas del módulo de comunicaciones para que este las envíe a los dispositivos accionadores de que se traten.



Dirección 1



Dirección 2

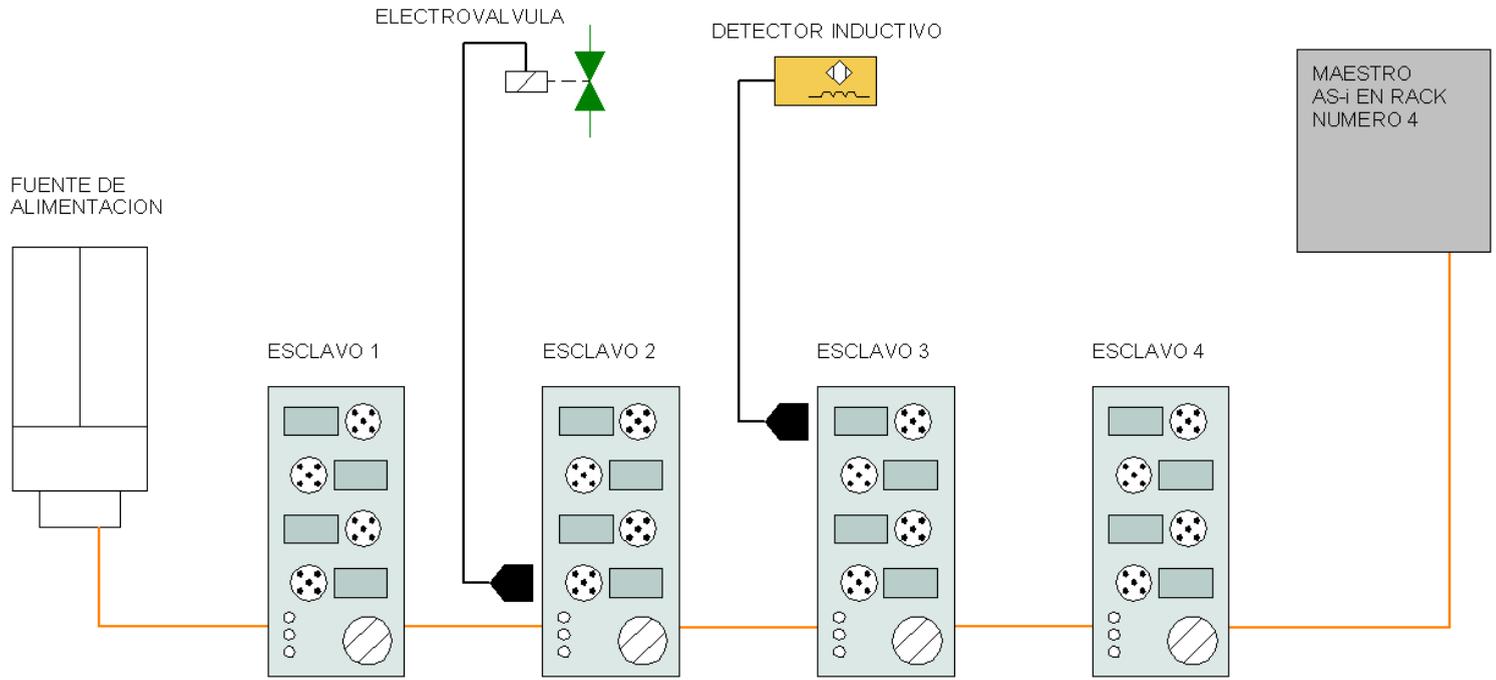


Dirección 3

Bus de datos, por ejemplo un cable de 2 hilos trenzado y apantallado.

## Ejemplo con una red AS-i.

Al detectar un sensor inductivo un elemento metálico activará una electroválvula.



## Programación de la comunicación de un bus AS-i en autómatas Schneider.

Se tratará, simplemente, de incorporar las salidas y las entradas de los esclavos AS-i al programa general del autómata. ¿Cómo identificar estas salidas y entradas?

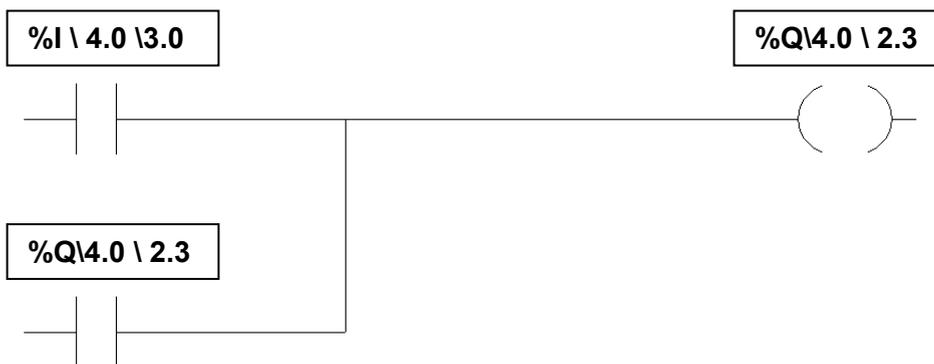
El formato de una entrada, en el software de Schneider se escribirá.

**%I \ 4.0 \ 3.0** → %I = Entrada. 4.0 = Posición 4 del rack del autómata, correspondiente a un maestro AS-i. 3 = Esclavo numero 3 (dirección asignada por la programadora). 0 = Primera **entrada** del esclavo.

El formato de una salida adoptaría la siguiente estructura.

**%Q \ 4.0 \ 2.3** → %Q = Salida. 4.0 = Posición 4 del rack del autómata, correspondiente a un maestro AS-i. 2 = Esclavo numero 2 (dirección asignada por la programadora). 3 = Cuarta **entrada** del esclavo.

Para activar la salida con la entrada se escribiría el programa con las variables anteriores.



Para conectar el cable a los diferentes módulos pasivos solamente se levanta su caratula y luego se vuelve a cerrar. Internamente lleva una tecnología que perfora el aislante y realiza la conexión del modulo con el bus.

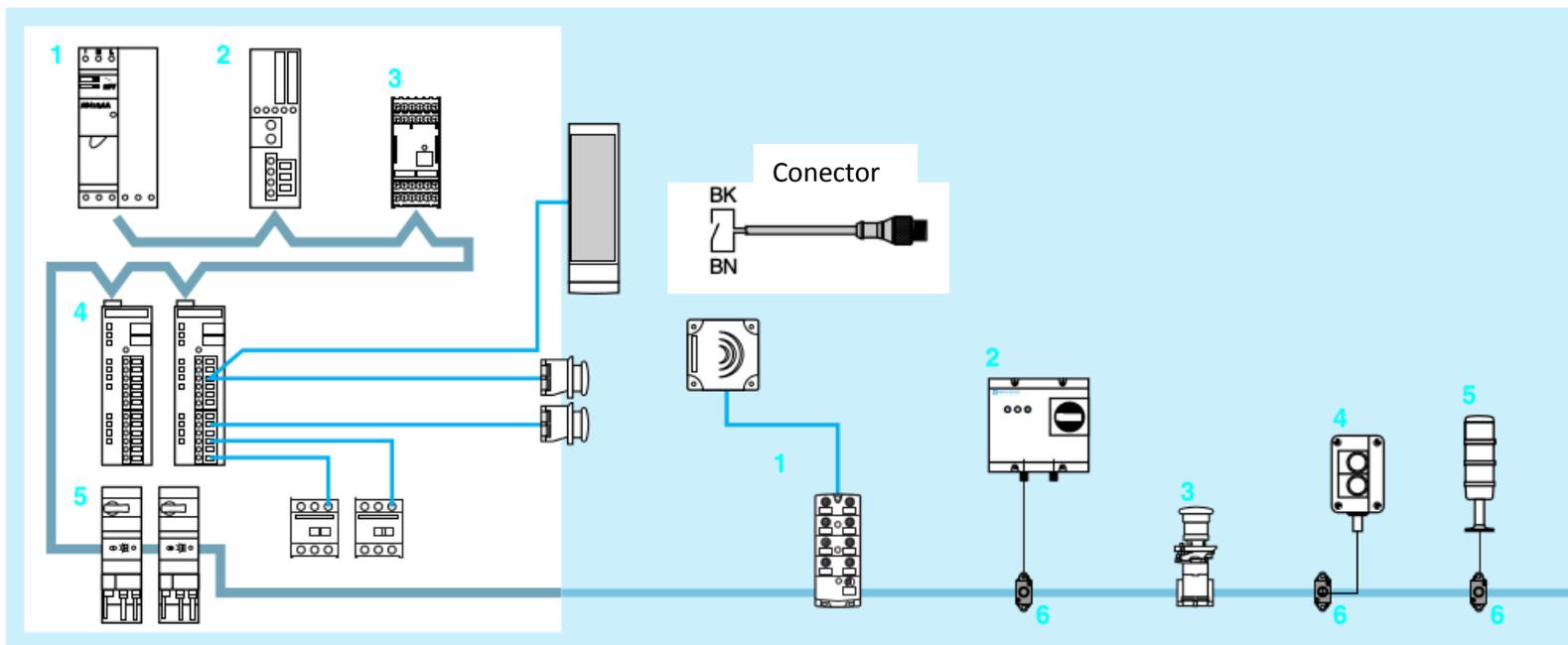


Tecnología de perforación de aislante

Para programar la dirección de los módulos se puede utilizar una **programadora de direcciones** específica.



### Distintos elementos que pueden participar en una red AS-i.



- 1 Fuentes de alimentación ASI ABL●●●●●
- 2 Maestro TWD NOI 10M3
- 3 Monitores de seguridad ASI SAFEMON●
- 4 Interfaces IP 20 para productos genéricos ASI 20M●●●
- 5 Interface para arrancadores TeSys modelo U: ASI LUFC5

- 1 Interfaces IP 67 para productos genéricos ASI 67F●●●●
- 2 Arrancadores motores LF1/LF2/LF7/LF8
- 3 Interface para paro de emergencia ASI SSLB4
- 4 Cajas de pulsadores XAL S200●
- 5 Balizas luminosas XVB C21●
- 6 Derivaciones para cable plano: XZ CG●●●●●, ASI DCP●●●●●

Acciones a realizar para una mejora en los tiempos de utilización de una planta.

Mantenimiento correctivo.

Utilización de bornas seccionables con fusibles.

En los sistemas de mando en los que se utilicen detectores activos (que hay que alimentar con energía para que funcionen) y que generalmente van fuera del cuadro de control ya que están en la línea de producción, como por ejemplo detectores inductivos, capacitivos, etc, en lugar de utilizar bornas de mando normales sustituirlas por **bornas seccionables con fusibles** cuyo calibre sea del orden de la intensidad que consumen dichos detectores. Según lo anterior si se produce un fallo por una causa eléctrica (si ocurre una sobrecarga o un cortocircuito) el fusible actuará, y sabremos en que receptor ha sido pudiendo detectar la avería de forma rápida.

Marcado de elementos.

Se deberán señalar de forma conveniente (respecto a los esquemas correspondientes) los distintos dispositivos. Los cables también se marcarán de forma que indiquen que numero de cable es y a que borne van unidos. Por último las bornas de entradas y salidas de un cuadro eléctrico también se marcarán de forma que indiquen con que elementos van conectadas.

Diagnóstico preimplantado en captadores.

Existen fabricantes que ofrecen métodos de diagnóstico para los elementos de captación y detección. Por ejemplo existen sistemas de entradas analógicas 4-20 mA en los que la tarjeta correspondiente es capaz de detectar averías en los captadores o en el conexionado ya que la interrupción del circuito implica una corriente inferior a los 4 mA.

De forma similar algunos fabricantes han desarrollado tarjetas de entradas binarias capaces de detectar la desconexión del elemento de entrada. Un posible método podría ser el que indica la figura siguiente, en el que es necesaria una preparación especial de los captadores.

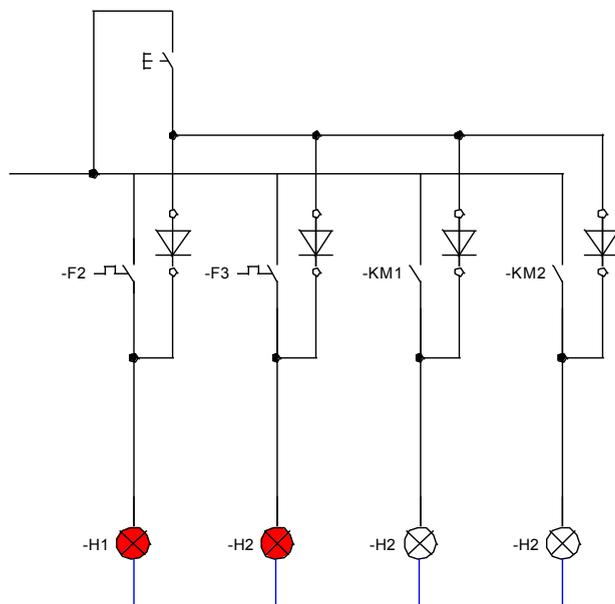
Cuando el elemento de entrada está activado deja circular una corriente de unos 20 mA mientras que cuando esta desactivado deja pasar una pequeña corriente de aproximadamente unos 6 mA; de esta forma una corriente inferior a 4 mA corresponde a una interrupción del circuito y una corriente superior a 22 mA corresponde a un cortocircuito.

Mantenimiento preventivo.

Pulsador de prueba.

En cuadros de pilotos eléctricos es habitual colocar un **pulsador de prueba de pilotos** de forma que al accionar éste se activan todos los pilotos y tenemos la seguridad de que estos funcionan; en el caso de que alguno no funcionase se vería el porque y se cambiaría. Esta prueba se haría todos los días al activar una planta o una máquina en particular.

Un esquema de utilización de piloto de prueba podría ser el siguiente.



### Diodos de rueda libre.

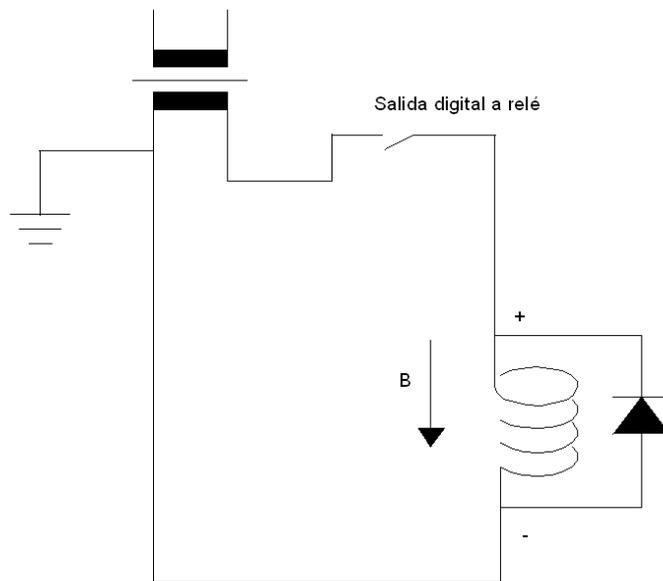
Utilizar diodos de rueda libre en paralelo con las bobinas de los relés o contactores para evitar los efectos de las sobretensiones en las desconexiones de los mismos.

Un circuito con bobinados (por ejemplo las bobinas de los contactores) almacena energía en forma electromagnética.

Al abrir un circuito de este tipo, por la ley de Lenz, la inductancia, para evitar la desaparición del campo, crea un f.e.m. (y por tanto una corriente) que tiende a mantener el campo que se está extinguiendo.

Esta energía (tensión y corriente) hace que en el elemento de corte (por ejemplo las salidas digitales del autómeta) aparezca una extracorrente de ruptura que produce una chispa o arco eléctrico que puede dañar dichos contactos.

Para evitarlo en circuitos de continua se coloca en paralelo a la bobina un diodo volante mientras que en circuitos de alterna se utilizan varistores.



### Cambio de pila de autómeta.

Cambiar la pila de un autómeta cada cierto tiempo.

### Sustitución de contactores según previsión de vida útil.

Sustituir un contactor cuando se han realizado un numero de maniobras preestablecido (elegido dicho numero por la información de catalogo referida a la vida útil de dichos contactos).

### Redundancia.

Entendemos por redundancia la existencia de más de un medio para cumplir una función. Las redundancias se pueden clasificar en varios tipos.

#### Redundancia activa.

Es aquella en la que todos los medios usados para cumplir la misma función funcionan simultáneamente. Garantiza la seguridad de funcionamiento dado que improbablemente fallarán todos los sistemas al mismo tiempo.

#### Redundancia pasiva.

En este caso no todos los medios funcionan simultáneamente sino que siempre hay alguno de reserva preparado para sustituir un posible equipo averiado. Garantiza la disponibilidad dado que, en caso de avería, rápidamente podremos volver a tener la máquina funcionando.

## Redundancia mayoritaria

Es una combinación de las dos anteriores, donde algunos de los medios funcionan simultáneamente y los otros están de reserva. De esta forma garantizamos la seguridad y la disponibilidad.

A la hora de aplicar las redundancias a un automatismo implantado con autómatas programables se acostumbra a optar por uno de los siguientes casos.

La **redundancia lógica selectiva** se realiza con un solo autómata que dispone de un programa con doble función. Una parte del programa se encarga de la automatización de la máquina y la otra verifica que el funcionamiento obtenido es el que era de esperar. La supervisión consiste habitualmente en comprobar que no hay entradas contradictorias (final de carrera inicio y final activados simultáneamente, etc...), que las acciones se realizan (realimentación del estado de los contactores), que dos acciones exclusivas no se realizan simultáneamente, la duración de cada acción, etc...Habitualmente la parte de supervisión ocupa aproximadamente la misma cantidad de memoria de autómata que el programa de automatización.

La **redundancia material selectiva** se basa en la duplicidad de las entradas y salidas. Estas E/S duplicadas pueden usarse alternativamente cuando interesa la disponibilidad o simultáneamente cuando interesa la seguridad de funcionamiento.

Respecto a la seguridad de personas y máquinas conviene destacar que dos salidas pueden trabajar en serie (por ejemplo dos contactores sobre el mismo motor o dos salidas sobre el mismo contactor) cuando se quiere garantizar que no habrá puestas en marcha no deseadas o en paralelo cuando es muy importante poder disponer del elemento en caso de necesidad (por ejemplo frenos de emergencia). De la misma manera las entradas también pueden ponerse en serie o en paralelo según cual sea la opción más segura; en este caso podemos escoger también entre elementos NA ó NC.

La **redundancia lógica masiva** consiste en usar dos programas (preferentemente escritos en lenguajes diferentes y para personas diferentes) controlando el mismo automatismo y funcionando sobre el mismo autómata con un programa de comparación.

La **redundancia material masiva** consiste en usar más de un autómata para realizar el automatismo. La redundancia material masiva pasiva consiste en que un autómata controla el automatismo y el otro está en reserva. Cuando el primer autómata falla (error de funcionamiento, watchdog, etc...) envía una señal al otro que toma el relevo y avisa al servicio de mantenimiento.

La **redundancia material masiva activa 2-2** consiste en que dos autómatas controlan el mismo proceso y se comparan las entradas y las salidas entre si o con un elemento externo. Si aparecen diferencias implica que uno de ellos falla. El sistema es incapaz de determinar cual de los dos autómatas es el que falla y por tanto debe desconectar los dos. Este sistema garantiza la seguridad y no la disponibilidad.

La **redundancia material masiva activa 2-3** consiste en que tres autómatas controlan el mismo proceso y se comparan las entradas y las salidas entre si o con un elemento externo. Si aparecen diferencias se escoge la opción mayoritaria y se considera el tercer equipo averiado. Se garantiza así la seguridad y la disponibilidad.

La **redundancia material masiva activa mayoritaria** es la generalización de lo anterior a un número (impar) cualquiera de autómatas.

## Mantenimiento predictivo

A través del propio programa del autómata pueden detectarse diversas averías y funcionamientos anómalos. A continuación se comentan algunas de estas posibilidades.

### Control con detectores finales de carrera.

Cuando un elemento tiene que moverse en dos direcciones con dos finales de recorrido fijos es conveniente no solo tener en cuenta el detector de final de carrera en el sentido del movimiento actual sino también el del sentido contrario. Si, por ejemplo, los dos detectores de final están activos simultáneamente puede ser causado por la avería de uno de los dos o bien uno de los dos es accionado por un elemento anómalo. Por otra parte cuando se inicia el movimiento en un sentido, el detector final de carrera tiene que desactivarse en un tiempo pequeño o está averiado.

Cuando un elemento tiene que moverse en dos direcciones con puntos de parada variables es conveniente no solo tener en cuenta el detector del punto de parada sino tener en cuenta que cada uno de los detectores tiene que irse activando a continuación de su precedente. Si, por ejemplo, dos detectores están activos simultáneamente puede ser causado por la avería de uno de los dos o bien uno de los dos es accionado por un elemento anómalo. Otro caso puede ser que después del segundo

detector se active el cuarto, lo que puede indicar que el tercer detector esta averiado o que todavía no ha llegado al tercero y hay un elemento anómalo que activa el cuarto.

Para mejorar la forma de detección de defectos en accionadores y captadores se pueden usar elementos de doble contacto, uno normalmente abierto y uno normalmente cerrado, conectados a tarjetas de entradas diferentes del autómeta. Si las tablas de imágenes de entradas correspondientes a las dos tarjetas no contienen informaciones complementarias quiere decir que una de las dos tarjetas o el captador correspondiente están averiados.

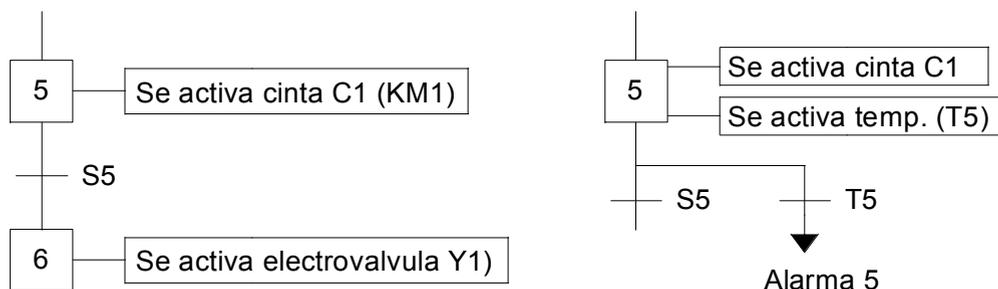
Respecto a las salidas es conveniente que el estado de cada preaccionador y/o accionador sea leído mediante una entrada del autómeta a fin de comprobar el correcto funcionamiento de las salidas y los elementos conectados a ellas. Por ejemplo, conviene que un contacto auxiliar de cada contactor informe al programa, a través de una entrada, del estado en que se encuentra.

### Grafcet de tiempos.

En paralelo con el GRAFCET de producción se puede utilizar un **GRAFCET de tiempos** para que nos emita alarmas o en que punto del proceso se ha producido un fallo. Recordemos que la velocidad de evolución de un GRAFCET nos la marca el proceso en si de que se trate. Pues bien, después de que tenemos un GRAFCET de producción implementado se medirán cuanto tardan en producirse las acciones respectivas, se le dará un margen para que haya una holgura y se implementaran en otro GRAFCET que seguirá en sus acciones al primero con la salvedad de que si el primero tarda mas tiempo del que hemos medido para una acción determinada el segundo emitirá una alarma indicando que acción no se ha realizado o dejado de realizar en el tiempo indicado; un operario comprobará por qué ha ocurrido esto y tratará de corregir el problema.

En el esquema siguiente se puede ver que la etapa 5 del GRAFCET funcional (el de la izquierda) activa una cinta transportadora mediante un contactor KM1 y al llegar a la transición S5 se desactivará (puede ser por ejemplo un final de carrera).

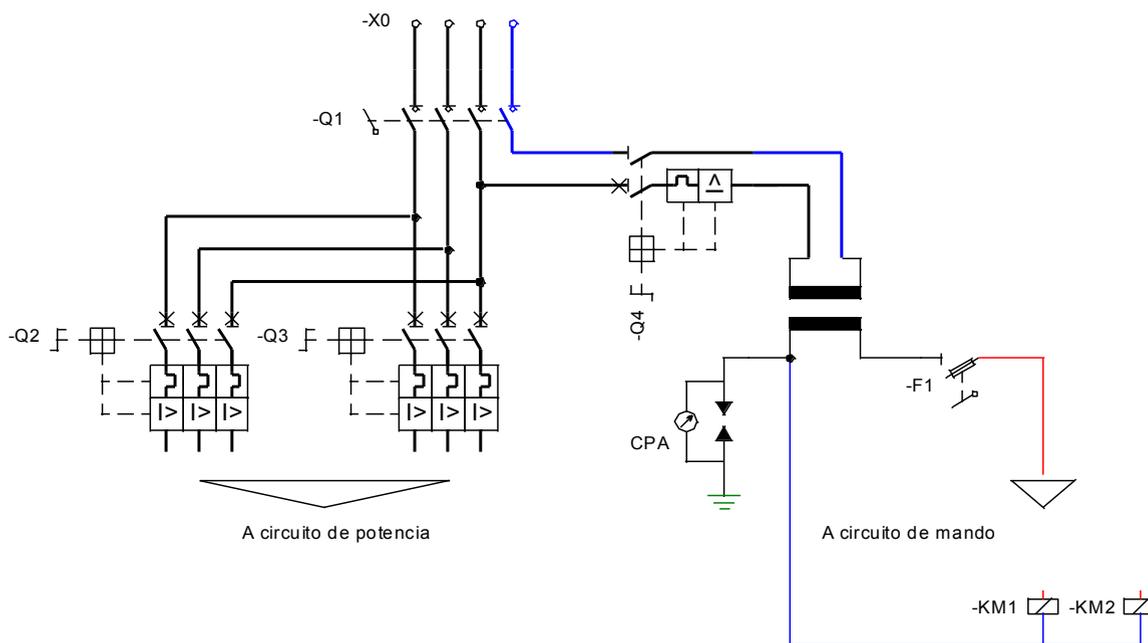
Cuando el proceso esté funcionando, con un cronometro se mide cuanto tiempo esta funcionando la cinta. Pensemos que son 20 segundos. Le damos una holgura por desgaste en el tiempo e imprevistos, y tomamos 25 segundos. En el GRAFCET de la derecha al temporizador le damos ese valor de forma que ha pasado algo (el motor no funciona, la cinta va mas lenta de lo normal porque esta mal engrasada, el detector no funciona, etc) de forma que emite una alarma y el operario va a ver que le pasa al motor de la cinta C1 (o al contactor KM1, o al detector S5). Hay que tener en cuenta que el GRAFCET de la derecha no activa las salidas igual que el de la izquierda, se ha puesto así para saber donde se está en cada momento.



Lo anterior se puede automatizar mas todavía en el sentido de realizar un programa en el que la activación de las alarmas nos diga por medio de una pantalla que es lo que tenemos que revisar. Ver sistemas SCADA.

### Controlador permanente de aislamiento.

Utilizar un transformador de mando con un controlador permanente de aislamiento para que en caso de un primer fallo a tierra en el circuito de mando el sistema no se nos desconecte.



## Seguridad en maquinas.

Además de la obligación moral de evitar dañar a cualquier persona, existen leyes que exigen que las máquinas sean seguras, así como importantes motivos económicos para evitar accidentes.

La seguridad debe tenerse en cuenta desde la fase de diseño y estar presente en todas las etapas del ciclo de vida de la máquina: el diseño, la fabricación, la instalación, el ajuste, el funcionamiento, el mantenimiento y su posterior desmontaje y eliminación.

El objetivo principal de la Directiva de Máquinas 2006/42/CE, que entró en vigor el 29 de diciembre de 2009, consiste en obligar a los fabricantes a que garanticen un nivel mínimo de seguridad para las máquinas y los equipos vendidos en la Unión Europea.

Cuando un producto cumple una norma europea armonizada, cuya referencia se publica en el Diario Oficial de la Unión Europea para una Directiva específica, y que cubre uno o más de los requisitos de seguridad esenciales, se supone que el producto cumple con esos requisitos de seguridad esenciales de la Directiva.

Los fabricantes que introduzcan al mercado máquinas en el Área Económica Europea deben cumplir con los requisitos de la Directiva de Máquinas. Adviértase que al indicar “introducir al mercado” se incluye el caso de una organización que suministre una máquina para sí misma, es decir, fabricar o modificar máquinas para su propio uso o importar máquinas dentro del Área Económica. Europea. Los usuarios de las máquinas deben asegurarse de que las máquinas recién adquiridas llevan el Mercado CE e incluyen la Declaración de Conformidad con la Directiva de Máquinas. Las máquinas deben utilizarse según las instrucciones del fabricante.

Las máquinas existentes que fueron puestas en servicio antes de la entrada en vigor de la Directiva de Máquinas no tienen que cumplir con ella, aunque deberán ser seguras y aptas para su propósito. La modificación de las máquinas puede considerarse como fabricación de una nueva máquina, aunque sea para uso interno y la empresa que modifique la máquina debe ser consciente de que podría necesitar emitir una Declaración de conformidad y de incluir el Mercado CE.

Para que una máquina u otro equipo sean seguros, es necesario evaluar los riesgos que pueden resultar de su uso. La evaluación y la reducción de riesgos de las máquinas se describen en EN ISO 14121-1.

Los pasos a seguir para certificar que una maquina es segura se pueden ver en el siguiente cuadro.



### Identificar los límites de la máquina

Es decir ¿qué se está evaluando?, ¿qué velocidades, cargas, sustancias, etc. pueden estar implicadas? Por ejemplo, ¿cuántas botellas moldea por soplado una extrusora por hora?, ¿cuánto material se procesa y a qué temperatura? Recuerde que debe incluirse el uso indebido predecible, como el uso posible de una máquina fuera de su especificación. ¿Cuál es la vida útil esperada de la maquinaria y su aplicación?, ¿de qué modo se desmontará y eliminará al final de su vida útil?

Identificar los peligros

¿Qué aspectos de la máquina podrían causar daños a las personas? Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de atrapamientos, aplastamientos, cortes de herramientas, bordes afilados en la máquina o en el material que se procese. También deberán tenerse en cuenta otros factores como la estabilidad de la máquina, el ruido, la vibración y la emisión de sustancias o las radiaciones, así como las quemaduras de superficies calientes, sustancias químicas o fricción debido a altas velocidades. Esta fase debe incluir todos los peligros que puedan estar presentes durante el ciclo de vida de la máquina, incluida la construcción, la instalación, el desmontaje y eliminación.

A continuación se ilustran ejemplos de peligros típicos, aunque no pretende ser una lista exhaustiva. Se puede obtener una lista más detallada en EN ISO 14121-1.

¿Quién puede sufrir daños por los peligros identificados y cuándo?

¿Quién interactúa con la máquina, cuándo y por qué? De nuevo, recuerde que debe preverse el uso indebido, incluida la posibilidad de que una persona no cualificada utilice la máquina y que podría encontrarse en el lugar de trabajo, es decir, no sólo operarios de las máquinas, sino personal de limpieza, de seguridad, visitantes y resto de personas.



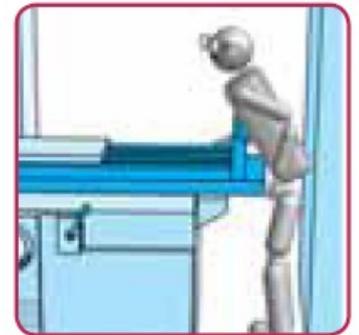
Pinchazo, perforación, cizallamiento, amputación, corte



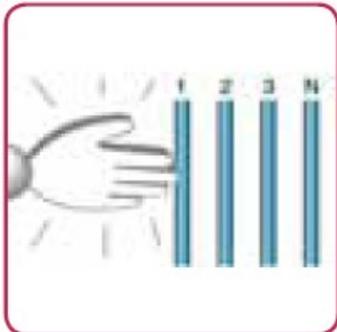
Aprisionamiento, atrapamiento, succión, engancho



Golpes



Aplastamiento



Electrocución



Proyección de sustancias peligrosas



Quemaduras

PUNTOS DE CHOQUE O GOLPE



PUNTOS DE ATRAPAMIENTO



PUNTOS DE ENCANCHE Y ARRASTRE



PUNTOS DE ABRASIÓN



PUNTOS DE CIZALLAMIENTO



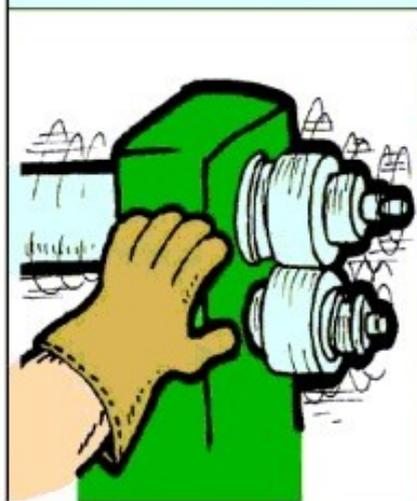
PUNTOS DE CORTE



Cuidado con la ropa suelta.



Cuidado con el pelo largo.



Cuidado con los puntos de pellizco.



Cuidado al engrasar, limpiar, reparar o ajustar.  
¡¡DETENGA LA MAQUINA!!

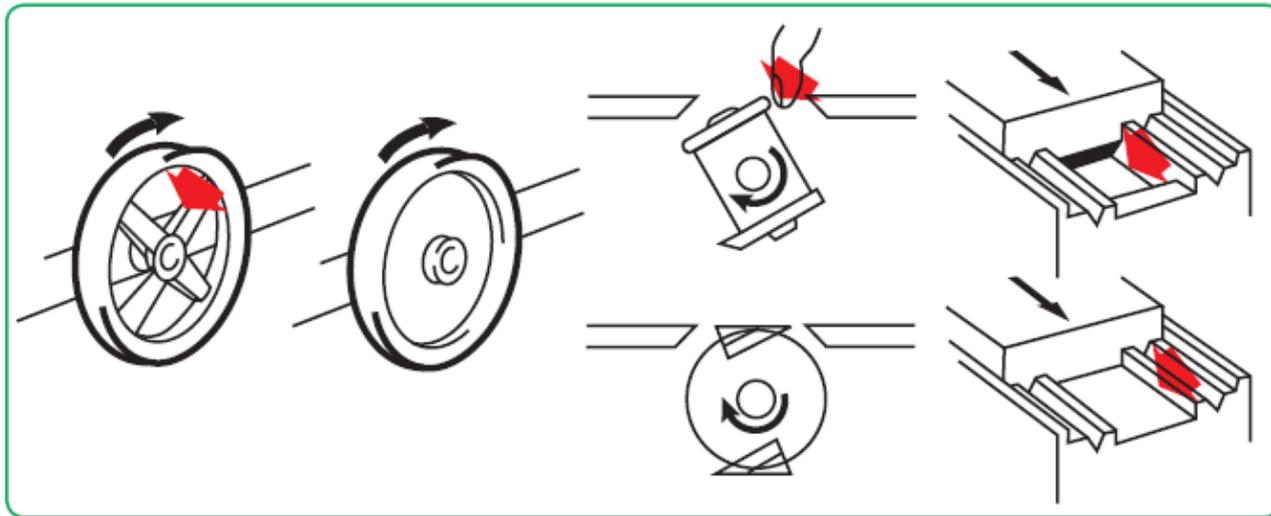
### Medidas para la reducción de riesgos

La reducción de riesgos se incluye en la norma EN ISO 12100-2.

La reducción de riesgos se define en términos de eliminación del riesgo: “el objetivo de las medidas adoptadas debe ser eliminar cualquier riesgo a lo largo de la vida útil previsible de la máquina, incluidas las fases de transporte, montaje, desmontaje, desactivación y desmontaje”.

Algunos riesgos pueden evitarse con medidas sencillas: ¿se puede eliminar la acción que genera el riesgo? La eliminación a veces puede lograrse mediante la automatización de algunas tareas, como la carga de la máquina. ¿Se puede eliminar el peligro? Por ejemplo, el uso de un disolvente no inflamable para las tareas de limpieza puede eliminar el peligro de incendio asociado a los disolventes inflamables. Esta fase se conoce como **diseño inherentemente seguro**, y es el único modo de **reducir un riesgo a cero**.

Al eliminar la transmisión del final del rodillo en un transportador se reducirá la posibilidad de que alguien quede atrapado en el rodillo. Al sustituir las poleas rayadas por discos uniformes se pueden reducir los peligros de amputaciones. Si se evitan los bordes afilados, las esquinas y las protuberancias, se pueden evitar cortes y rasguños. Si se aumenta la distancia mínima, se pueden evitar aplastamientos de partes del cuerpo, si se reduce la distancia máxima se puede eliminar la posibilidad de introducción de partes del cuerpo. Si se reducen las fuerzas, las velocidades y las presiones, se pueden reducir los riesgos de lesiones.



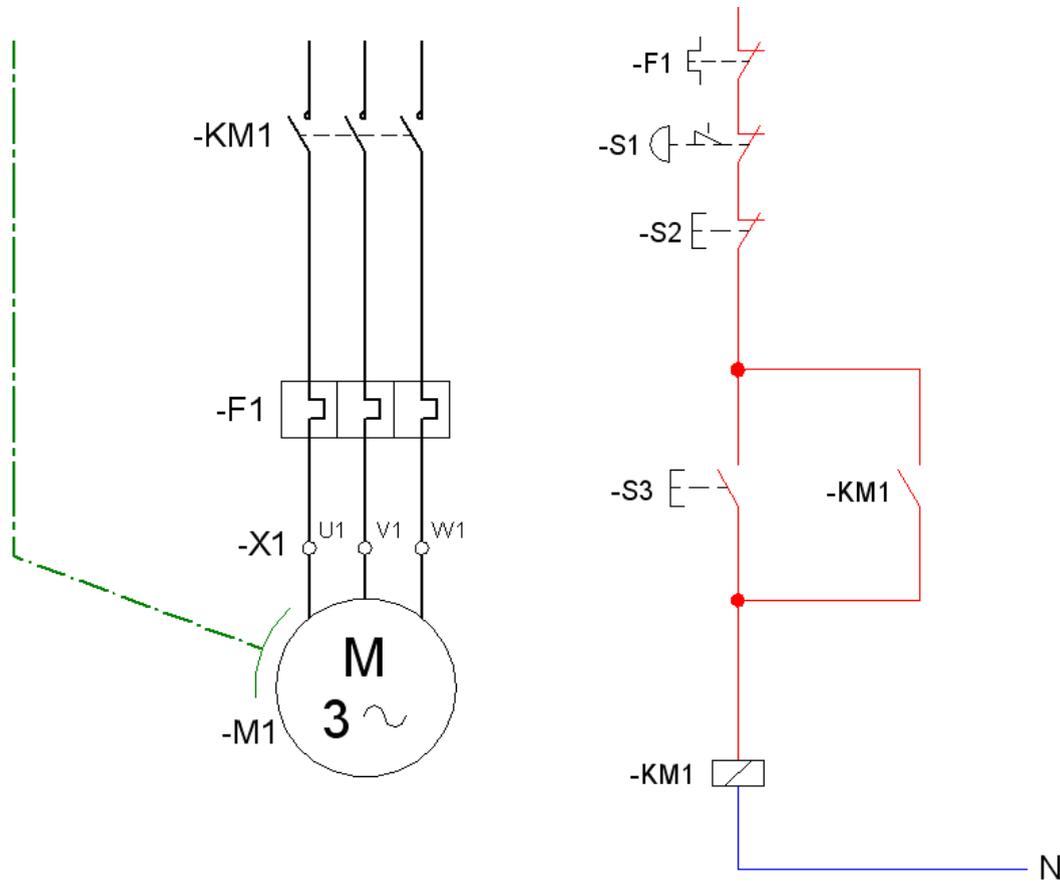
Eliminación de zonas cortantes mediante medidas de diseño inherentemente seguro

Fuente: BS PD 5304

Hay que tener cuidado al sustituir un riesgo asociado por otro posible. Por ejemplo, las herramientas accionadas con aire evitan los peligros asociados a la electricidad, pero pueden introducir otros por el uso de aire comprimido, como la inyección de aire en el cuerpo y el ruido de un compresor.

## Ejemplo de riesgo eléctrico.

Se tiene el siguiente esquema de mando.



Si accionamos el pulsador S3 el motor se pone en marcha. Si accionamos la seta de emergencia S1 se corta el circuito de mando y el motor se debería parar (es un montaje marcha-paro típico).

Pero, ¿qué pasaría si los contactos de potencia de KM1 se quedasen pegados? Al accionar S1 el motor en vez de pararse seguiría funcionando. Se supone que si accionamos S1 el motor debería parar; por lo que el hecho de que el motor pueda seguir funcionando puede dar lugar a que se produzca un accidente.

¿Qué pasaría si se produjese un puenteo del interruptor de emergencia si el interruptor esta localizado en una lonja? (por ejemplo mediante agua salada, que es conductora). El motor no "vería" la orden, ya que la bobina seguiría activa y por lo tanto se podría producir un accidente.

Para este tipo de fallos la función de seguridad deja de estar garantizada y por lo tanto es necesario para evitar dichos fallos seguir una serie de directrices que minimicen los posibles accidentes que se pueden producir en la maquinaria.

## Medidas para la reducción de riesgos eléctricos.

Los fallos en la alimentación de energía y los fallos en cualquiera de los elementos integrantes de las partes del sistema de mando que realizan funciones de seguridad pueden dar lugar a sucesos peligrosos motivados por:

Puesta en marcha intempestiva.

La variación incontrolada de ciertos parámetros del equipo de trabajo.

La anulación de un dispositivo de protección (por ejemplo de resguardos).

La imposibilidad de parar un equipo

La caída o proyección de elementos, etc.

El diseño correcto del circuito tratara de conseguir, en primer lugar, que dichos fallos no se puedan producir; si esto no es posible, se tratará de que dichos fallos no provoquen un fallo de una función de seguridad.

La experiencia demuestra que en muchas ocasiones estos objetivos se pueden alcanzar utilizando técnicas, principios y componentes que han demostrado su eficacia a lo largo del tiempo en aplicaciones de la técnica de la seguridad (de eficacia probada)

Prevención de sucesos peligrosos debidos a los fallos en la alimentación de energía.

Prevención de los sucesos peligrosos debidos a los fallos a masa.

Prevención de los sucesos peligrosos debidos a puentes entre conductores.

Prevención de los sucesos peligrosos originados por fallos en los sistemas electrónicos.

Enclavamientos de protección entre diferentes operaciones y movimientos contrarios.

Selección de las diversas formas de funcionamiento de mando de un equipo de trabajo.  
Prevención de los peligros generados al sobrepasar ciertos límites.  
Acción mecánica positiva.

### Utilización de técnicas y componentes de circuito, de eficacia ya probada.

#### Prevención de sucesos peligrosos debidos a los fallos en la alimentación de energía.

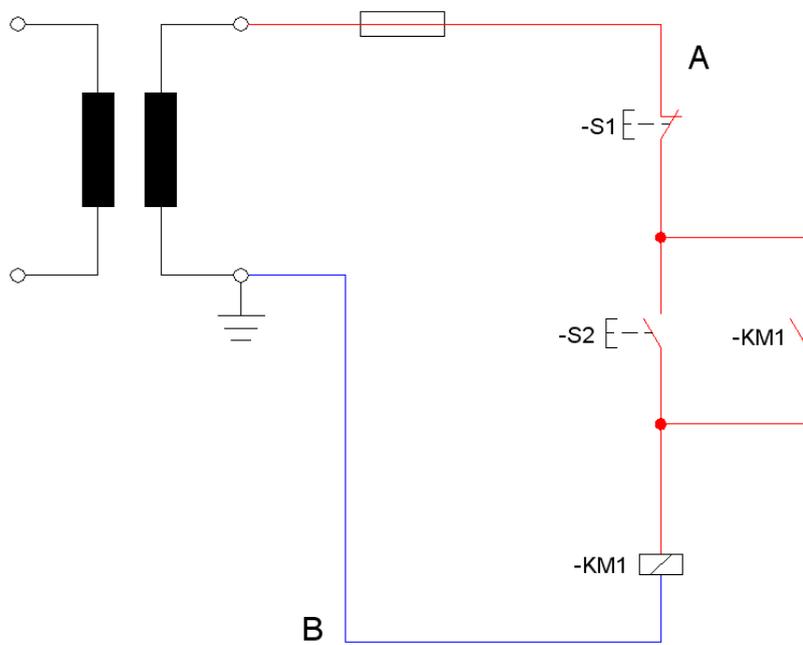
Protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

Protección contra arranques intempestivos.

Protección contra caídas de piezas en grúas si falla la alimentación. (En este caso la falta de energía hace que la pieza quede en su sitio mediante algún sistema de energía potencial (por ejemplo mediante muelles), mientras que si queremos soltarla tendremos que suministrarle energía).

#### Prevención de los sucesos peligrosos debidos a los fallos a masa.

Por ejemplo la configuración siguiente, de un circuito para fallos de puesta a tierra.

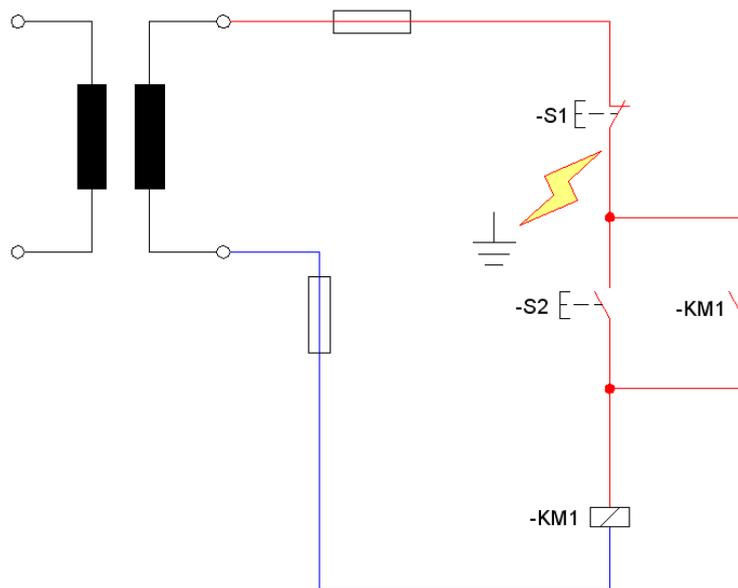


- 1.- Los contactos del relé deben abrirse si una bobina no esta excitada.
  - 2.- Una línea debe ponerse a tierra en el bobinado secundario del transformador de aislamiento.
  - 3.- Todas las bobinas del circuito de seguridad deben estar conectadas directamente y lo más cerca posible a la línea de puesta a tierra.
  - 4.- El circuito de seguridad debe emplear un fusible.
- El fusible se fundirá y se cortara la alimentación al circuito si se produce un fallo de puesta a tierra en la línea A. No se producirá este fallo en la línea B, dado que esta conectada a tierra.

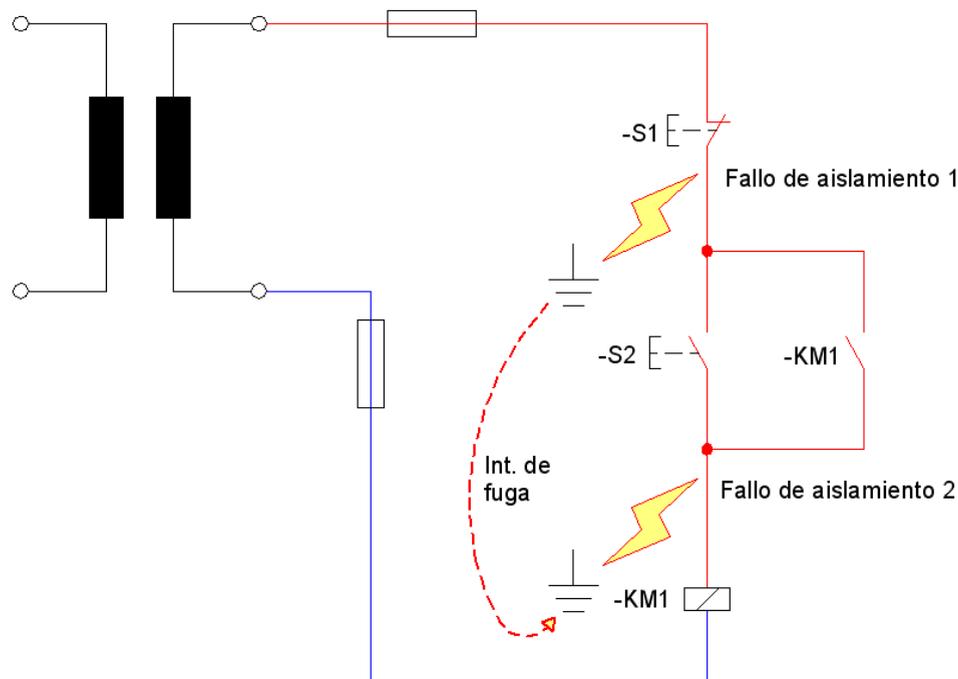
Ejemplos de fallos de puesta a tierra.

Circuito de seguridad no puesto a tierra.

En un primer fallo a tierra no ocurriría nada.



Un segundo fallo como muestra el dibujo podría producir un arranque intempestivo.

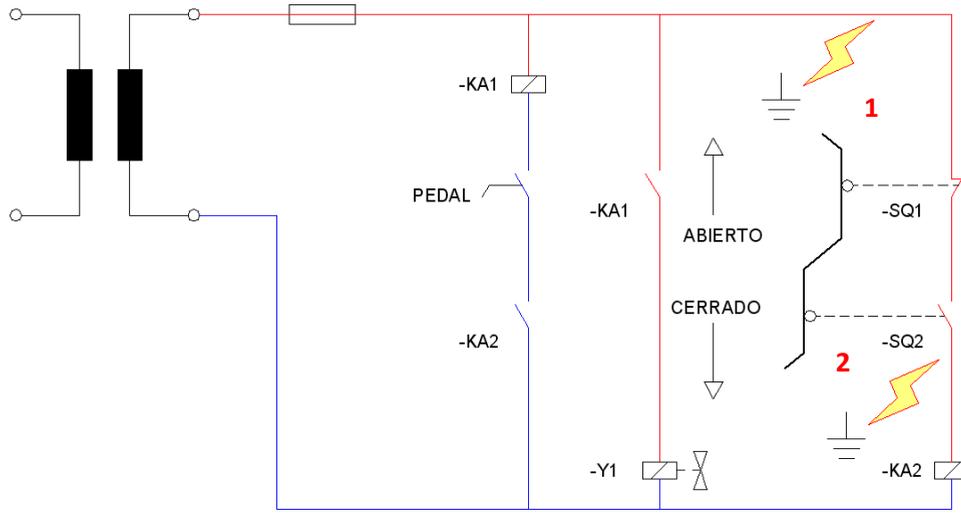


### Prevención de los sucesos peligrosos debidos a puentes entre conductores.

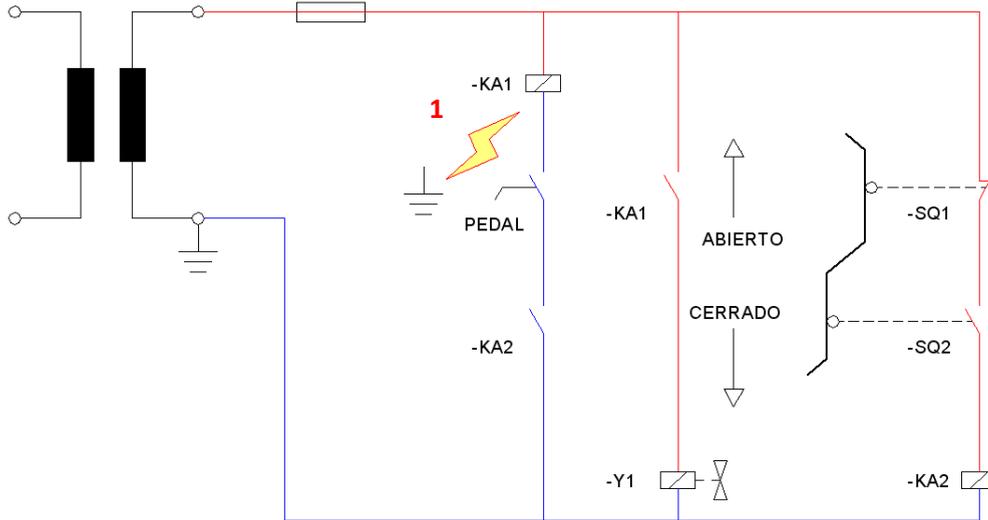
En los equipos de trabajo pueden existir ciertos puntos críticos en los que es muy probable que se produzcan puentes entre conductores, ya sea a través de masa o bien directamente entre ellos, pudiendo dar lugar a sucesos peligrosos.

Uno de los ejemplos más claros es el de los puentes que se pueden producir en los **circuitos de los órganos de mando que no están fijados directamente sobre el bastidor del equipo de trabajo**, tales como los pedales (por ejemplo, el pedal de una plegadora), o los pupitres de mando desplazables (por ejemplo, el pupitre móvil de un mando a dos manos). Las causas pueden ser, por ejemplo, el aplastamiento o retorcimiento del cable en el que están los conductores, o el corte de los conductores producido por la caída de una pieza metálica. En estos casos dichos circuitos se deben concebir y construir de manera que la puesta a masa de los conductores o un cortocircuito entre los conductores o el corte de los conductores no pueda dar lugar a un arranque intempestivo, ni imposibilite la parada del equipo (véase la figura H4).

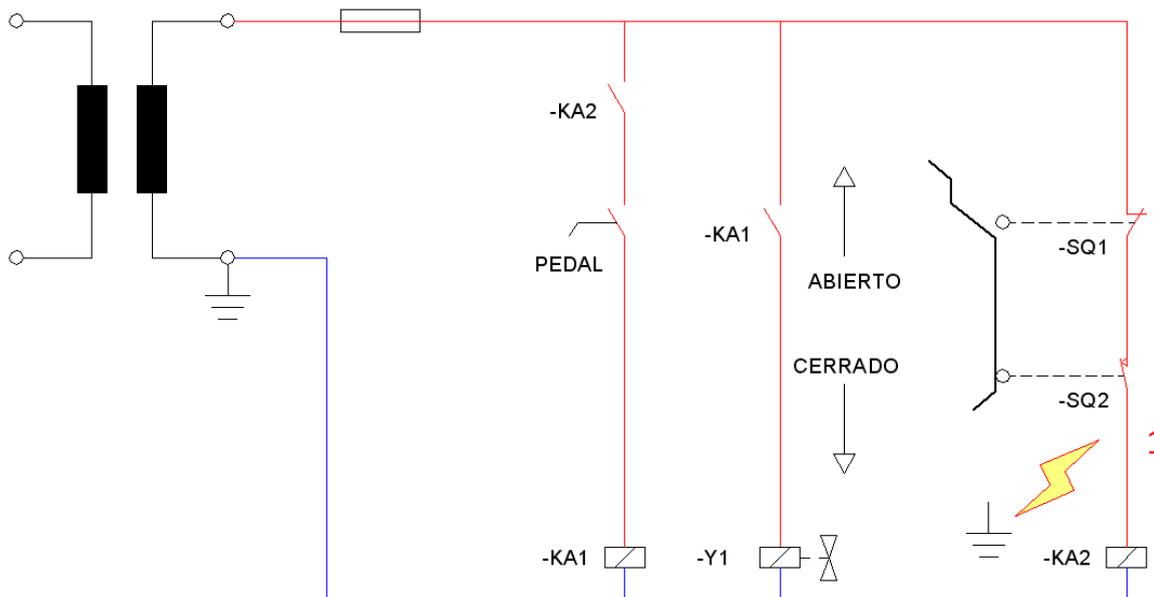
La figura muestra un ejemplo de cableado incorrecto de un pedal de mando. La maniobra de mando esta alimentada a través de un transformador de separación de circuitos, sin ninguna conexión al circuito de protección equipotencial. Dos fallos a masa (1 y 2) en dos partes del circuito, tales como las indicadas en la figura, anulan la función de seguridad asignada al resguardo.



La figura siguiente es un ejemplo de cableado incorrecto de un pedal de mando. La maniobra de mando esta alimentada a través de un transformador de separación de circuitos, con uno de los conductores del secundario conectado al circuito de protección equipotencial, pero, debido a la disposición de la bobina del relé KA1, un solo fallo a masa (1), tal como el indicado en la figura, da lugar a una puesta en marcha intempestiva, anulando, por tanto, la función de seguridad asignada al resguardo.



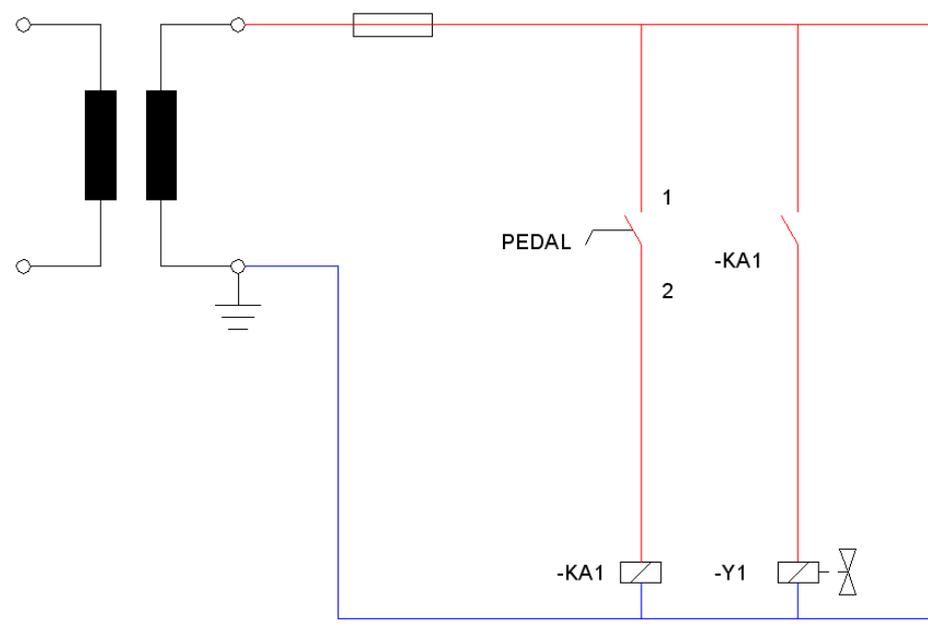
La siguiente figura es un ejemplo de un cableado correcto de un pedal de mando. La maniobra de mando esa alimentada a través de un transformador de separación de circuitos, con uno de los conductores del secundario conectado al circuito de protección equipotencial. Además, uno de los bornes de la bobina de cada uno de los relés KA1 y KA2 y de la electroválvula Y1 esta conectado a dicho conductor. Un fallo en cualquier parte del circuito que no este conectada al circuito de protección equipotencial dará lugar a un cortocircuito que provoca la fusión del fusible y, por tanto, la parada del equipo de trabajo.



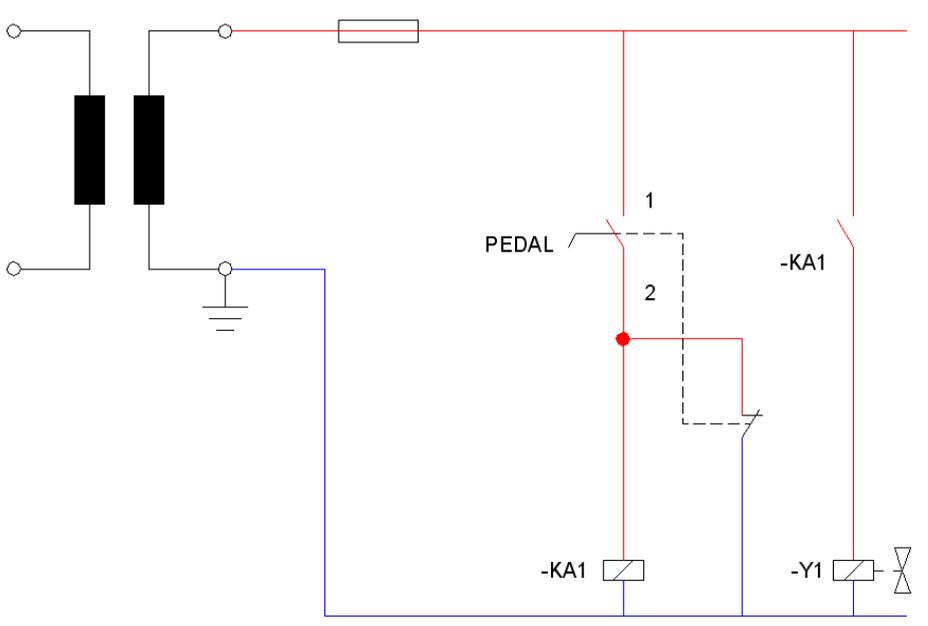
Existen **otros casos** en los que esta posibilidad también se debe tener en cuenta. Por ejemplo, en el trayecto entre los detectores de posición y el armario de mando; si los conductores van por el exterior de la máquina, un aplastamiento del cable donde van los conductores o el desgaste del aislamiento debido a las vibraciones puede anular la función del detector de posición. En estos casos una protección mecánica del cable y/o una correcta sujeción del mismo pueden evitar dicho fallo. En el caso de las cajas de conexiones, la suciedad o el polvo, si es conductor, pueden originar puentes en los bornes; la solución es mantener el grado de protección IP adecuado.

En general dentro de un armario eléctrico no es necesario tener en cuenta los puentes entre conductores, siempre que éstos tengan la sección adecuada, mantengan un nivel de aislamiento aceptable y estén protegidos contra cortocircuitos y, si es necesario, contra sobrecargas.

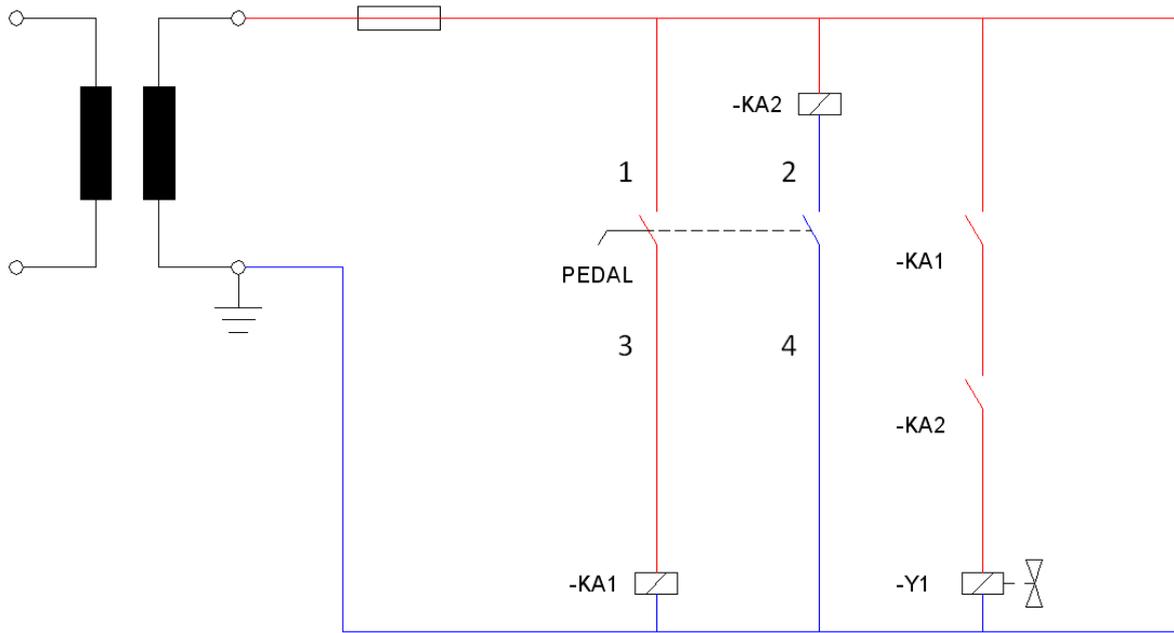
La siguiente figura es un ejemplo de cableado incorrecto de un pedal de mando. La maniobra de mando esta alimentada a través de un transformador de separación de circuitos, con uno de los conductores del secundario conectado al circuito de protección equipotencial. Además, uno de los bornes de la bobina del relé KA1 y de la electroválvula Y1 esta conectado a dicho conductor, pero en este caso es el pedal el que da directamente la orden de puesta en marcha de los elementos peligrosos, ya que no existe ninguna condición previa, tal como la del cierre de un resguardo. Un puente entre los conductores 1 y 2 que van al pedal, sin pasar por masa, da lugar a una puesta en marcha intempestiva.



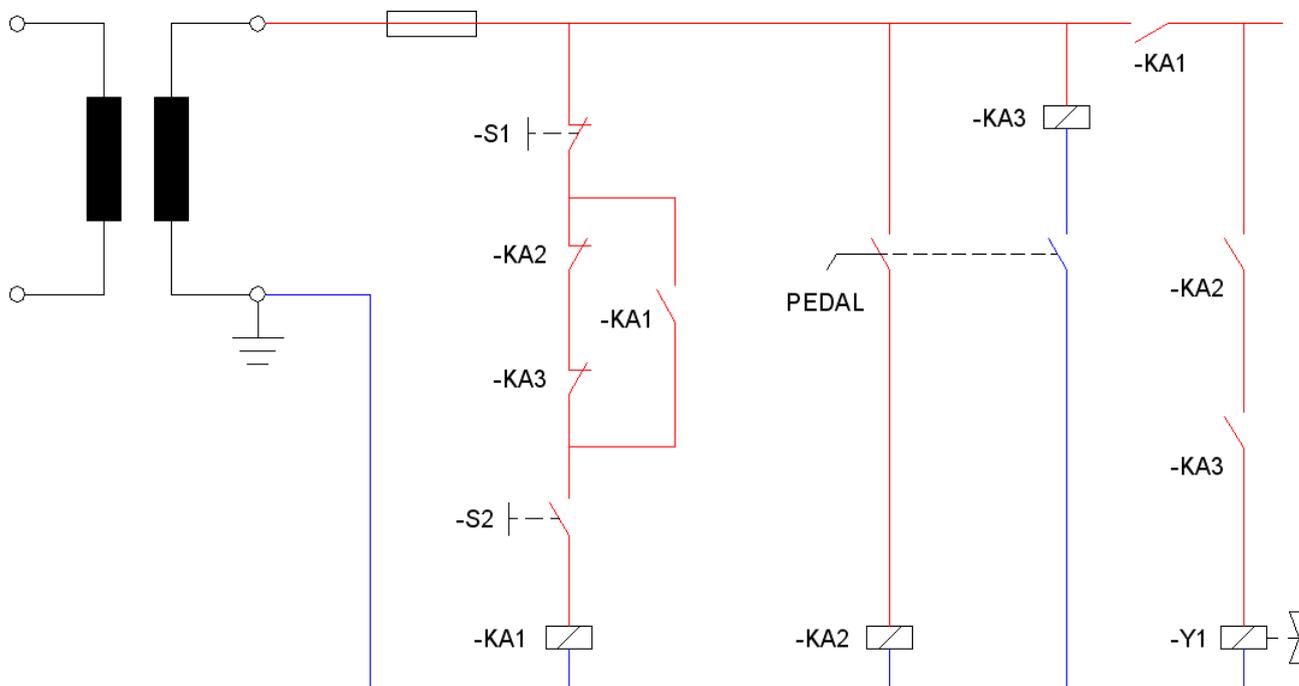
La siguiente figura es un ejemplo de cableado correcto de un pedal de mando. La maniobra de mando esta alimentada a través de un transformador de separación de circuitos, con uno de los conductores del secundario conectado al circuito de protección equipotencial. Además, uno de los bornes de la bobina del relé KA1 y de la electroválvula Y1 esta conectado a dicho conductor. En este caso la aplicación de un contacto normalmente cerrado del pedal, en paralelo con la bobina del relé KA1, da lugar a que un puente entre los conductores 1 y 2 que van al contacto normalmente abierto del pedal provoque un cortocircuito que hará fundir el fusible, quedando el equipo de trabajo parado.



La siguiente figura es un ejemplo de cableado correcto de un pedal de mando. La maniobra de mando esta alimentada a través de un transformador de separación de circuitos, con uno de los conductores del secundario conectado al circuito de protección equipotencial. Uno de los bornes de la bobina del relé KA1 y de la electroválvula Y1 esta conectado a dicho conductor. En este caso se utiliza el principio de la redundancia (relés duplicados, KA1 y KA2) con las bobinas de los relés en montaje cruzado. Con esta disposición un solo fallo, sin pasar por masa, no puede dar lugar a una puesta en marcha intempestiva. Así, el puente entre 1 y 4 da lugar a un cortocircuito; el puente entre 2 y 3 deja las bobinas a la mitad de tensión, por lo que, después de una parada, no podrán activarse dichas bobinas; un puente entre los conductores que van a los contactos del pedal (1-3 o 2-4) activa la bobina correspondiente. Este último fallo no es detectado por la maniobra, por lo que una acumulación de fallos podría dar lugar a una puesta en marcha intempestiva.



Para evitar el último fallo anterior es preciso controlar la posición de los contactos de los relés KA1 y KA2 tal como se muestra en la siguiente figura.



## Prevención de los sucesos peligrosos originados por fallos en los sistemas electrónicos.

Por lo tanto, **los equipos electrónicos programables no se deben utilizar para las funciones de parada de emergencia de categoría 0 (parada por supresión inmediata de la alimentación de energía en los accionadores de la máquina)**. Aunque, en principio, dichos equipos se pueden utilizar **para las funciones de parada de emergencia de categoría 1 (parada con utilización de la energía en los accionadores y posterior supresión de la energía a los mismos una vez obtenida la parada) y para cualquier otra función de parada relacionada con la seguridad, es preferible utilizar componentes electromecánicos cableados (es decir: que la función de parada no dependa exclusivamente del funcionamiento del equipo electrónico programable)**.

Esto no excluye la utilización de equipos electrónicos programables para controlar, comprobar o reforzar dichas funciones. No obstante, dichos equipos no deben impedir el funcionamiento correcto de las funciones de seguridad.

## Enclavamientos de protección entre diferentes operaciones y movimientos contrarios.

Cuando la **ejecución errónea de una secuencia** de ciertos elementos o de ciertas funciones del equipo de trabajo pueda dar lugar a sucesos peligrosos se deben prever los enclavamientos precisos para garantizar que dichos elementos o funciones se realizan de manera coordinada.

Nota: Son ejemplos de dicha coordinación: evitar la entrada simultánea de contactores en estrella y en triángulo para el arranque de un motor o de relés que ordenan movimientos contrarios, entre otros (inversión de giro, motores de dos velocidades, etc...).

## Selección de las diversas formas de funcionamiento de mando de un equipo de trabajo.

Cuando un equipo de trabajo puede **funcionar según diversas formas de mando o de funcionamiento y el cambio a una u otra forma de mando o de funcionamiento puede dar lugar a peligros o a situaciones peligrosas de diferente nivel de riesgo**, es preciso dotarlo de un **dispositivo que permita seleccionar las diferentes formas de mando o de funcionamiento y que se pueda bloquear en cada posición mediante una llave**. Dicho dispositivo se puede sustituir por otros medios de eficacia similar (por ejemplo, códigos de acceso).

Nota: Éste puede ser el caso de un robot en el que la protección en funcionamiento automático consiste en un resguardo perimetral con una puerta de acceso enclavada; al pasar a la forma de funcionamiento "reglaje" con mando por botonera portátil el operador está sometido a un nivel de riesgo superior, ya que el enclavamiento de la puerta de acceso está anulado y el operario se encuentra cerca del robot con otras medidas preventivas alternativas como, por ejemplo, mando sensitivo, control de la velocidad, dispositivo de validación de dos posiciones y parada de emergencia. En este caso el selector debe ser bloqueable en cada posición de modo de funcionamiento (automático, reglaje...).

## Prevención de los peligros generados al sobrepasar ciertos límites.

En ciertos equipos de trabajo sobrepasar ciertos límites establecidos puede originar peligros para las personas.

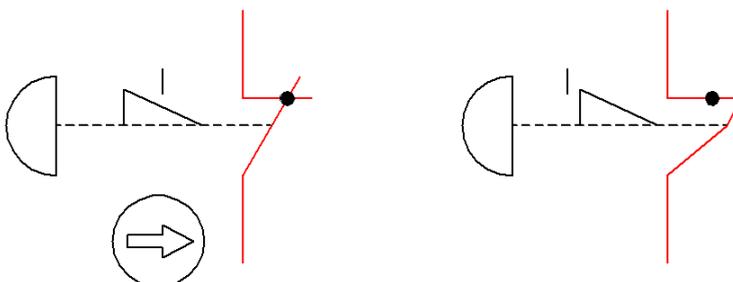
Son ejemplos de estos límites:

- el límite de presión en un recipiente sometido a presión;
- el límite de temperatura en un reactor;
- el límite de velocidad en una rectificadora o en un esmeril fijo;
- el límite de recorrido o de final de ciclo en una máquina (parada en punto muerto superior de una prensa excéntrica en funcionamiento golpe a golpe, cuando se alimenta o se extrae manualmente la pieza).

En estos casos se deben tomar las medidas preventivas apropiadas para garantizar que no se sobrepasan esos límites; estas medidas deben ser adecuadas al nivel de riesgo que presenta la situación peligrosa considerada.

## Técnica de seguridad de apertura positiva.

Los interruptores de seguridad de apertura positiva usan una varilla de contacto conectada directamente al actuador a través de una conexión mecánica rígida (no puede ser a través de muelles). En el caso de una soldadura de los contacto, el funcionamiento del actuador romperá mecánicamente la soldadura, abriendo el contacto con seguridad.



## Resguardos para maquinaria.

Los medios más utilizados para garantizar la protección contra los peligros que presentan las máquinas son los **resguardos** y los **dispositivos de protección**.

Los **resguardos son** elementos de una máquina, o en general de un equipo de protección, que se utilizan específicamente para garantizar la protección mediante una barrera material.

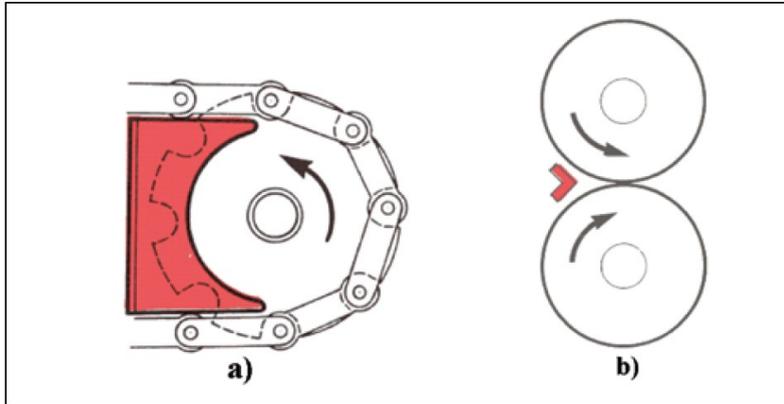
**Los dispositivos de protección son** elementos, distintos de los resguardos, que reducen el riesgo, solos o asociados a un resguardo.

Los resguardos se pueden clasificar en:

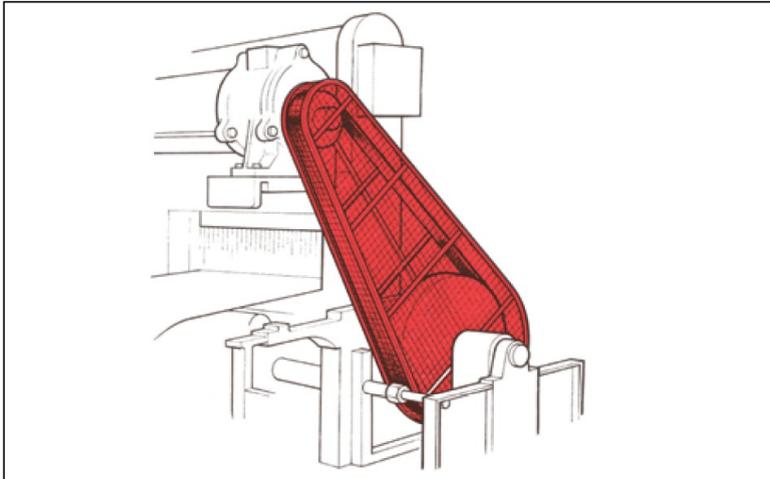
Resguardos fijos.

Resguardo fijado de tal manera (por ejemplo, mediante tornillos, tuercas, soldadura) que solamente puede abrirse o retirarse mediante herramientas o destruyendo los medios de fijación.

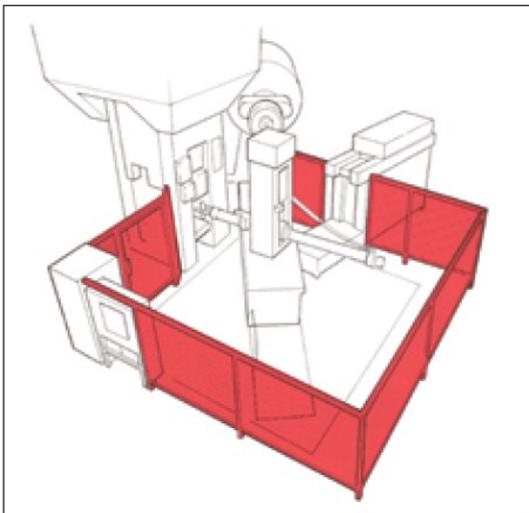
Resguardo fijo como protección local.



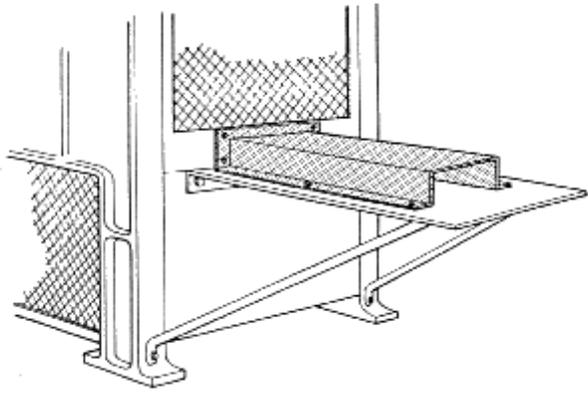
Resguardo fijo envolvente aislando una zona peligrosa.



Resguardo fijo distanciador empleado como protección perimétrica.



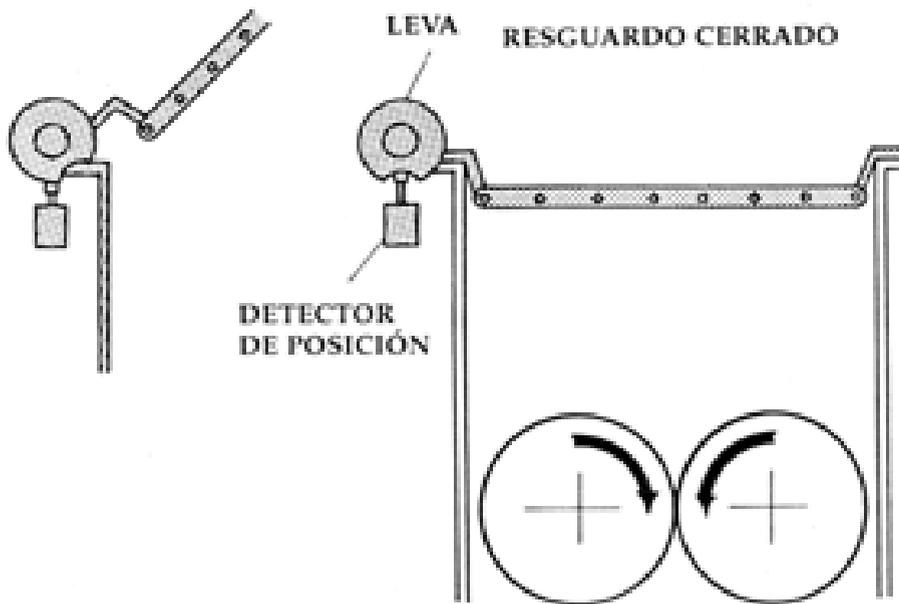
Resguardo fijo distanciador tipo túnel.



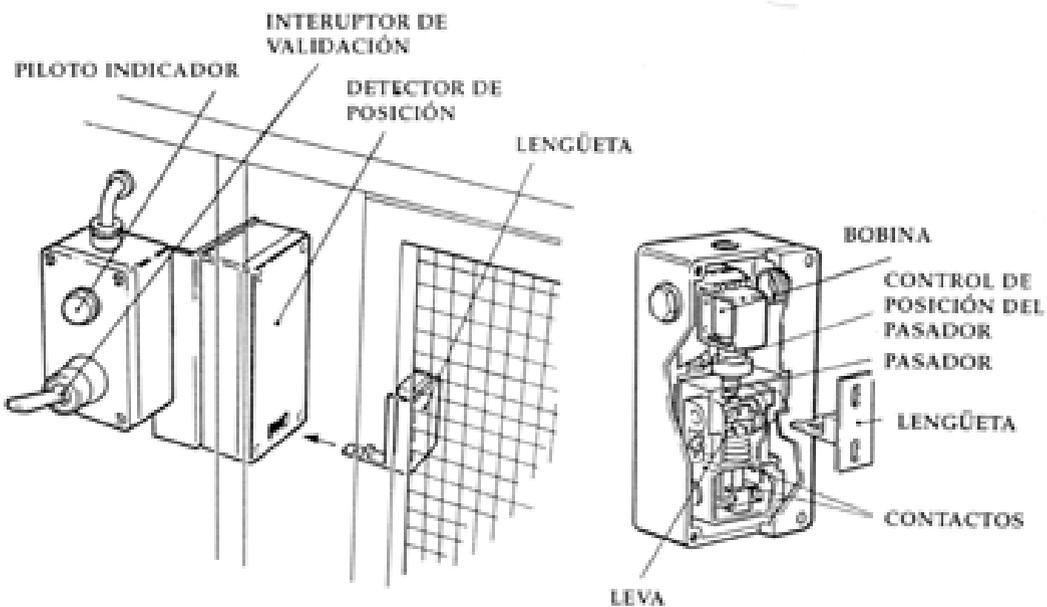
Resguardos móviles.

Son resguardos que se pueden abrir sin necesidad de utilizar ninguna herramienta.

**RESGUARDO ABIERTO**

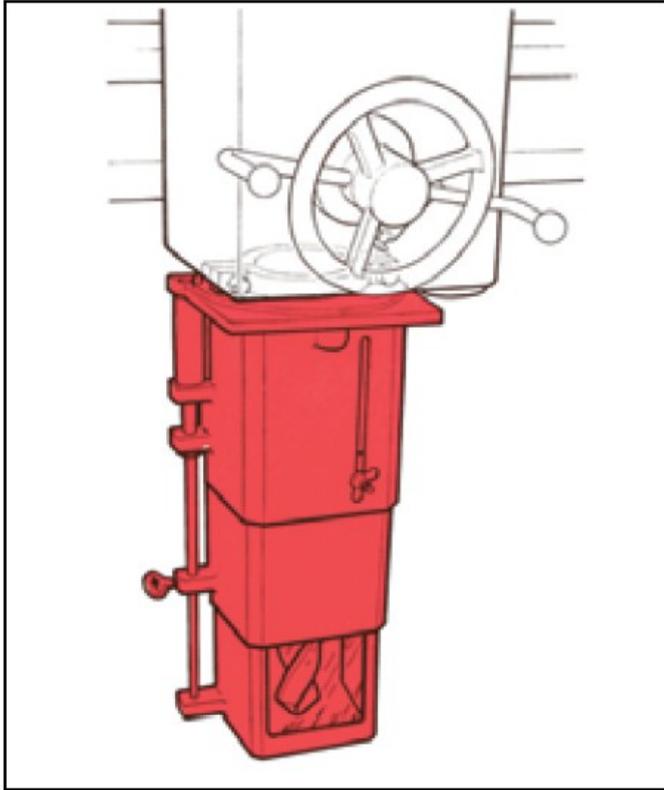


Resguardo móvil con interruptor de seguridad.



Resguardos regulables y de cierre automático.

Es un resguardo fijo o móvil que se puede regular en su totalidad o que tiene partes regulables. Normalmente están destinados a limitar el acceso a los órganos móviles de trabajo o a la herramienta, cuando éstos no pueden hacerse totalmente inaccesibles. La regulación permanece fija mientras se realiza la operación.

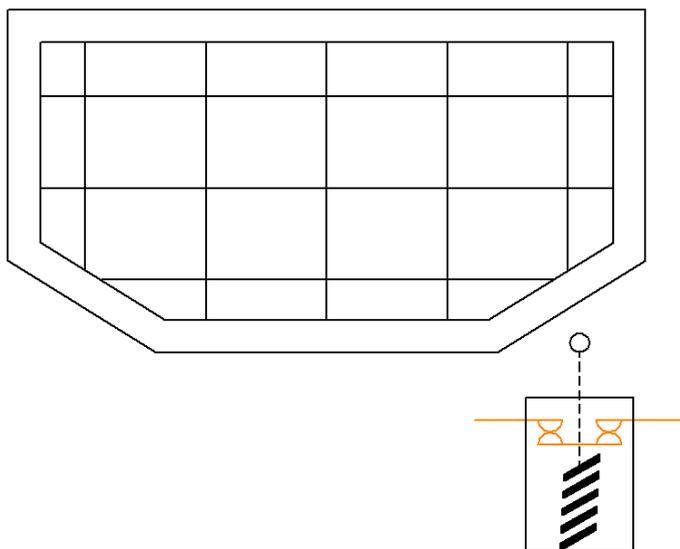


Resguardo regulable para la protección en la broca de un taladro.

**Dispositivos de detección, de funcionamiento en modo positivo.**

El dispositivo permite que se emita una señal de modo permanente y cuando se quiere parar la maquina (por ejemplo) dicho dispositivo interrumpirá la señal mediante una fuerza externa.

Por ejemplo final de carrera en una puerta que protege de una maquinaria que esta trabajando detrás de ella (por ejemplo una prensa de chapa).



Si se corta el cable el sistema reaccionara.

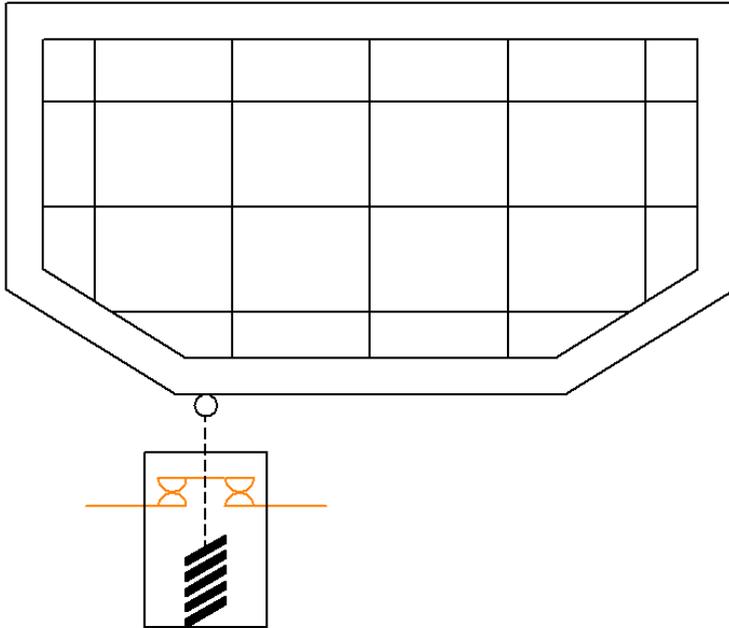
Si se sueldan los contactos el sistema reaccionara al abrir la puerta.

Si el muelle se rompe el sistema reaccionara al abrir la puerta.

### Dispositivos de detección de funcionamiento en modo negativo.

El dispositivo emite una señal de modo permanente cuando esta accionado. Cuando se quiere parar la maquina dicho dispositivo interrumpirá la señal debido a la fuerza ejercida por un muelle interno.

Por ejemplo final de carrera en una puerta que protege de una maquinaria que esta trabajando detrás de ella (por ejemplo una prensa de chapa).

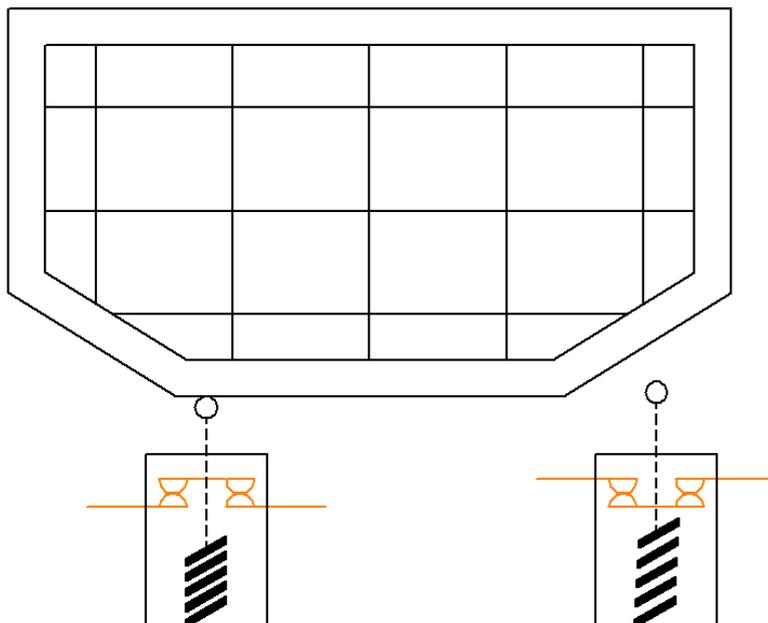


Si se sueldan los contactos la fuerza del muelle interno quizás no sea suficiente para separar los contactos.

Si el muelle se rompe el sistema no reaccionara al abrirse la puerta.

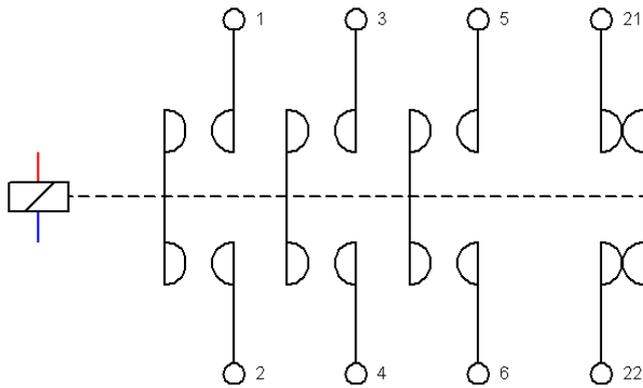
### Dispositivos de detección de funcionamiento en modo combinado.

Se utilizan dos dispositivos; uno en modo negativo y otro en modo positivo. De esta forma se evita que un estímulo externo peligroso (por ejemplo vibraciones) le afecte de igual forma a un dispositivo que a otro (de modo común). Esta combinación se denomina a veces redundancia heterogénea.

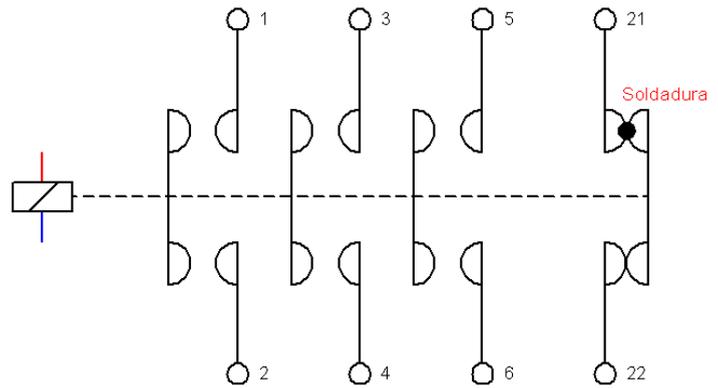


## Contactos de relé de seguridad ligados mecánicamente.

En los **relés de seguridad**, los contactos NA y NC se pueden asociar para incrementar la seguridad; es decir, se conectan mecánicamente entre si de forma que una soldadura entre contactos imposibilite que los contactos abiertos se cierren, cuando el relé se active.

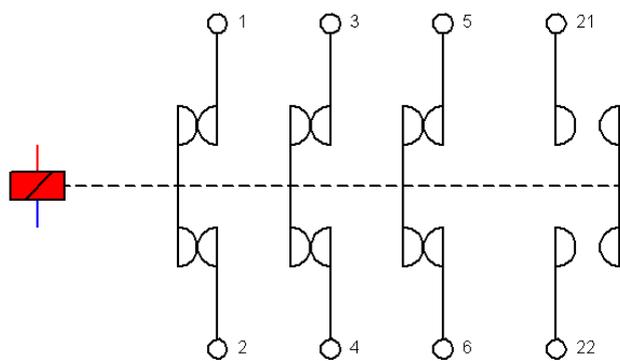


Contactor en reposo

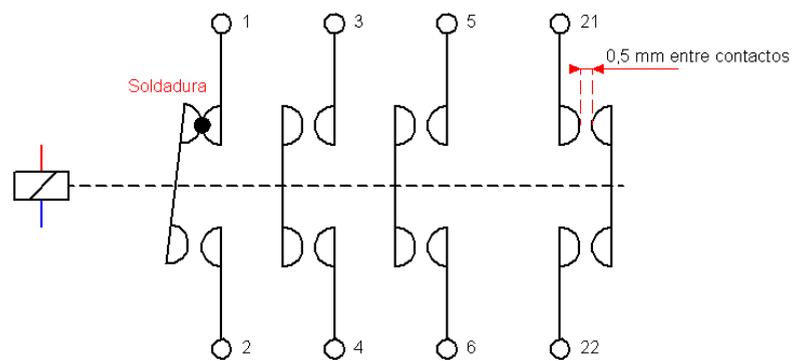


Contactor en reposo que se acciona con un contacto cerrado soldado.

En este caso los contactos abiertos no podrán cerrarse cuando el relé se active.



Contactor accionado



Contactor que se pone en reposo con un contacto abierto soldado.

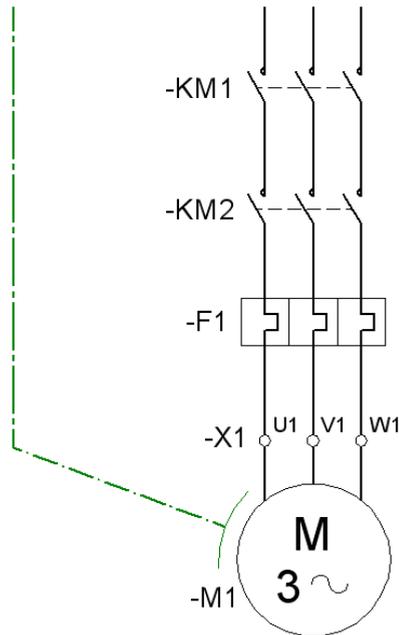
Los contactos cerrados no pueden cerrarse mas, cuando el relé se desactiva (la distancia mínima a la que tienen que quedar es de 0,5 mm).



## Redundancia.

Como es muy poco probable que dos componentes fallen al mismo tiempo, resulta más seguro duplicar algunos dispositivos o cadenas funcionales.

Para evitar que factores externos ocasionen el fallo de ambos componentes al mismo tiempo (fallo de modo común), por ejemplo con vibraciones, corrosión, temperatura, interferencia de radiofrecuencia) puede usarse la redundancia heterogénea. Así, en vez de utilizarse dos componentes iguales se utilizan dos componentes con una tecnología diferente para cada uno. Por ejemplo, en los monitores de puertas se pueden usar un par de interruptores, uno en modo positivo y otro en modo negativo, para que ambos fallen simultáneamente por un modo común.



Si se quiere parar el motor se desconectarán los dos contactores al mismo tiempo.

Sería muy raro que los dos contactores tuviesen los contactos pegados al mismo tiempo; de forma que si alguno los tiene no abrirá, pero el otro contactor sí.

## Autocontrol.

Permite verificar automáticamente el funcionamiento correcto de cada componente de seguridad. Se comprueban los dispositivos que cambian de condición con cada ciclo, a fin de detectar cualquier fallo o mal funcionamiento.

Si se detecta un fallo durante el autocontrol, la máquina se detiene, impidiendo que se lleve a cabo el ciclo siguiente.

## Redundancia y autocontrol.

La asociación de estas dos técnicas permiten la detección de fallos a través del autocontrol, y también es una garantía de que se mantiene la seguridad después del primer fallo, a través de la redundancia.

## Protección y medidas protectoras complementarias (según EN ISO 12100-2 capítulo 5)

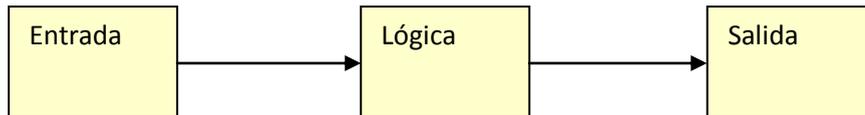
Cuando no es posible aplicar un diseño inherentemente seguro, el siguiente paso es **la protección**. Esta medida puede incluir, por ejemplo, protecciones fijas, protecciones de enclavamiento, detección de presencia para evitar arranques inesperados, etc. La protección debe evitar que las personas entren en contacto con los peligros, o bien reducir los peligros a un nivel seguro, antes de que la persona pueda entrar en contacto con ellos.

Las protecciones en sí mismas pueden ser fijas para cercar o distanciar un peligro, o bien móviles para que puedan cerrarse automáticamente o se accionen o se enclaven eléctricamente.

### Medidas de protección para detectar el acceso a una zona de peligro.

Se pueden utilizar medidas de protección para detectar el acceso a una zona de peligro. Cuando se selecciona la detección como método de reducción de riesgos, el diseñador debe entender que debe usarse un sistema de seguridad completo; el dispositivo de protección, por si mismo, no proporciona la reducción de riesgos necesaria.

Este sistema de seguridad generalmente consiste de tres bloques: 1) Un dispositivo de entrada que detecte el acceso a una zona de peligro, 2) un dispositivo lógico que procese las señales que provienen del dispositivo de detección, revise el estado del sistema de seguridad y encienda y apague los dispositivos de salida, y 3) un dispositivo de salida que controle el accionador (por ejemplo, un motor).



### Categorías de las partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad.

Después de realizar un estudio de la estimación de riesgos teniendo en cuenta variables del siguiente tipo, gravedad de una posible lesión, frecuencia (o tiempo) de exposición al peligro, posibilidades de evitar el peligro, etc... se elige la categoría del sistema de seguridad adecuado, para minimizar los riesgos.

Las categorías de los sistemas de seguridad son las siguientes. Van de menor a mayor grado de protección.

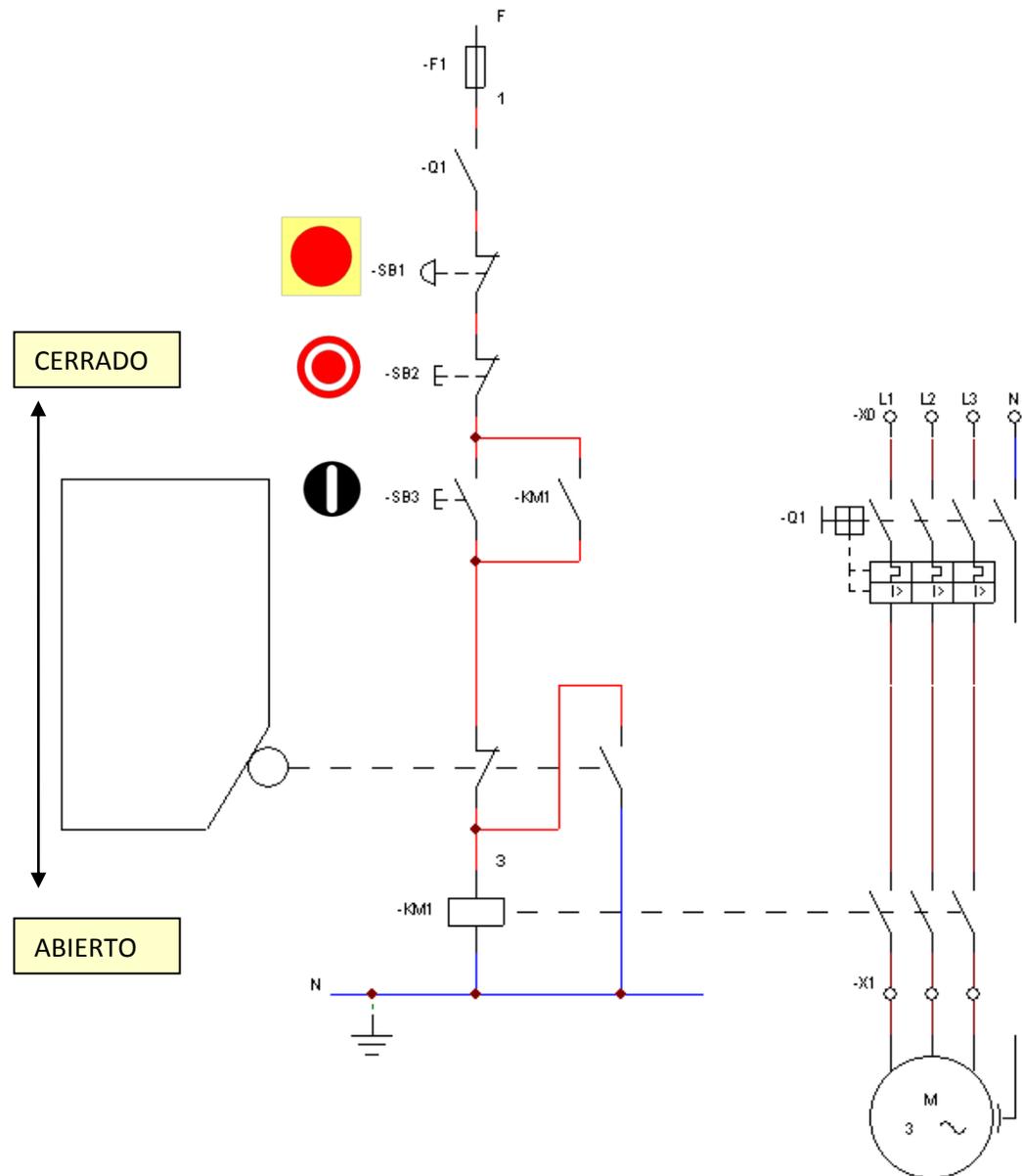
#### Categoría B (categoría básica)

Las partes relacionadas con la seguridad de controles de máquinas y/o su dispositivo de seguridad, así como sus componentes, se deberán conformar, construir, seleccionar, ensamblar y combinar de acuerdo con las normas pertinentes de forma que resistan las influencias esperadas.

## Categoría 1

La categoría 1 supone que el fallo o la avería de un componente puede dar lugar a la pérdida de la función de seguridad. Éste es el menor nivel de seguridad aceptable.

La siguiente figura muestra un ejemplo de maniobra de categoría 1 para el enclavamiento entre un resguardo móvil y el motor de accionamiento de un elemento peligroso y parada de emergencia.



### Descripción del funcionamiento

Cuando el resguardo está cerrado y el órgano de accionamiento de la parada de emergencia está desbloqueado, es posible poner en marcha el motor mediante una maniobra de marcha/parada clásica; con la máquina en marcha, al abrir el resguardo, éste pisa el detector de posición SQ1, que deja sin alimentación a la bobina del contactor KM1, ordenando la parada del motor. Lo mismo ocurre si se actúa sobre el pulsador de parada de emergencia SB1 que, además de quedar bloqueado en posición de abierto, separa inmediatamente el motor de sus fuentes de energía.

### Ejemplos de técnicas y componentes de eficacia probada aplicados

- Protección de la maniobra contra sobrecargas; protección del motor (y del contactor) contra sobrecargas y cortocircuitos lo más ajustada posible.
- Protección contra los sucesos peligrosos derivados de la puesta a masa del circuito de mando (alimentación del circuito de mando **a través de un transformador de separación de circuitos**, conexión de las masas al circuito de protección equipotencial y conexión del común de las bobinas alimentadas por el transformador a dicho circuito).
- La caída y posterior restablecimiento de la energía no da lugar a un arranque intempestivo del motor ya que cae el contactor KM1 y es necesaria una acción voluntaria para volver a poner en marcha el motor. Sucede lo mismo si se abre el resguardo con la máquina en marcha. En general no debe ser posible la puesta en marcha del motor por el mero hecho de cerrar el resguardo (salvo en casos muy concretos).
- Protección contra puentes entre conductores (puente 1–3) que podrían anular la acción del detector de posición (si se produce dicho puente, al abrir el interruptor mediante el resguardo, se provoca un cortocircuito a través de su contacto normalmente abierto unido a tierra, tirando toda la maniobra).
- Arranque del motor (condición peligrosa) conseguido por aporte de energía al contactor.
- El resguardo móvil actúa según el modo positivo sobre el detector de posición (acción mecánica positiva).
- Detector de posición y pulsador de parada de emergencia de maniobra positiva de apertura (la apertura de sus contactos es mecánica directa).
- Montaje del resguardo y del detector de manera que su accionamiento recíproco sea lo más fiable posible (para mayor información sobre los requisitos de montaje, véase la norma UNE-EN 1088).
- Montaje del resguardo respetando las distancias de seguridad para impedir el acceso a la zona peligrosa cuando está cerrado.

### Ejemplos de fallos que pueden anular el enclavamiento

- Fallos en el guiado u holguras en el resguardo que impiden que el contacto cerrado del detector de posición se abra.
- Pérdida de sujeción, o rotura, de la leva del detector.
- Contactor pegado o atascado.



### **Descripción del funcionamiento**

Este esquema permite la puesta en tensión general de la maniobra de mando de la máquina y por otra parte permite el arranque y la parada del motor del elemento peligroso. Para poner en tensión la maniobra de la máquina se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Debe estar cerrado el interruptor magnetotérmico Q1 de protección del motor; así, uno de sus contactos auxiliares permite la alimentación de la maniobra.
- Debe estar desbloqueado el pulsador de parada de emergencia SB1.
- El resguardo debe estar abierto para que, mediante el contacto normalmente abierto del detector de posición SQ1, se alimente la bobina del relé auxiliar KA3 y mediante el contacto no desconecte la bobina del relé auxiliar KA2.

En estas condiciones se puede dar tensión al resto de la maniobra mediante el pulsador SB3, alimentando así la bobina del contactor KA1.

El arranque del motor M sólo será posible si se cierra el resguardo y se acciona el pulsador de puesta en marcha del motor SB5. Al cerrar el resguardo, se alimenta la bobina del relé auxiliar KA2 y se desconecta la bobina del relé auxiliar KA3, lo que permite la puesta en marcha del motor. Mientras no se realice una parada general de la máquina al cambiar de turno de trabajo, mediante el pulsador SB2, el resguardo se puede abrir y cerrar varias veces sin necesidad de rearmar toda la maniobra.

Al arrancar de nuevo la máquina hay que repetir el proceso descrito, lo que obliga a efectuar así el dispositivo de enclavamiento.

### **Ejemplos de técnicas y componentes de eficacia probada aplicados.**

Se aplican los de la categoría 1.

– Los posibles puentes entre los conductores que van del detector de posición a los relés KA2 y KA3 se detectan por la alimentación cruzada de los relés, evitando que dichos puentes puedan anular la función del detector de posición. Así:

a) un puente entre 1 y 2 o entre 3 y 4 origina un cortocircuito entre 1 y 4 al abrir el resguardo, tirando toda la maniobra; b) un puente entre 1 y 4 da lugar a un cortocircuito; c) un puente entre 1 y 3 o entre 2 y 4 da lugar a una activación permanente del relé KA2 o del relé KA3; estos estados fijos son detectados por la maniobra (por ejemplo, si se queda activado permanentemente KA3, el motor no se podrá poner en marcha y, si se queda activado permanentemente KA2, no se podrá poner en marcha la maniobra general de la máquina); d) un puente entre 2 y 3 no activa simultáneamente los relés KA2 o KA3, ya que los relés se activan aproximadamente al 85% de la tensión de alimentación y debido a dicho puente la tensión en las bobinas es del 50%; por tanto, no se podrá poner en marcha el motor o no se podrá alimentar KM1 y, además, al abrir el resguardo, se producirá un cortocircuito, que fundirá el fusible.

– Los puentes o los fallos a masa dan lugar a cortocircuitos (1 o 3) o a estados permanentes de accionamiento (por ejemplo, alimentación permanente de KA3 que es detectada por la maniobra).

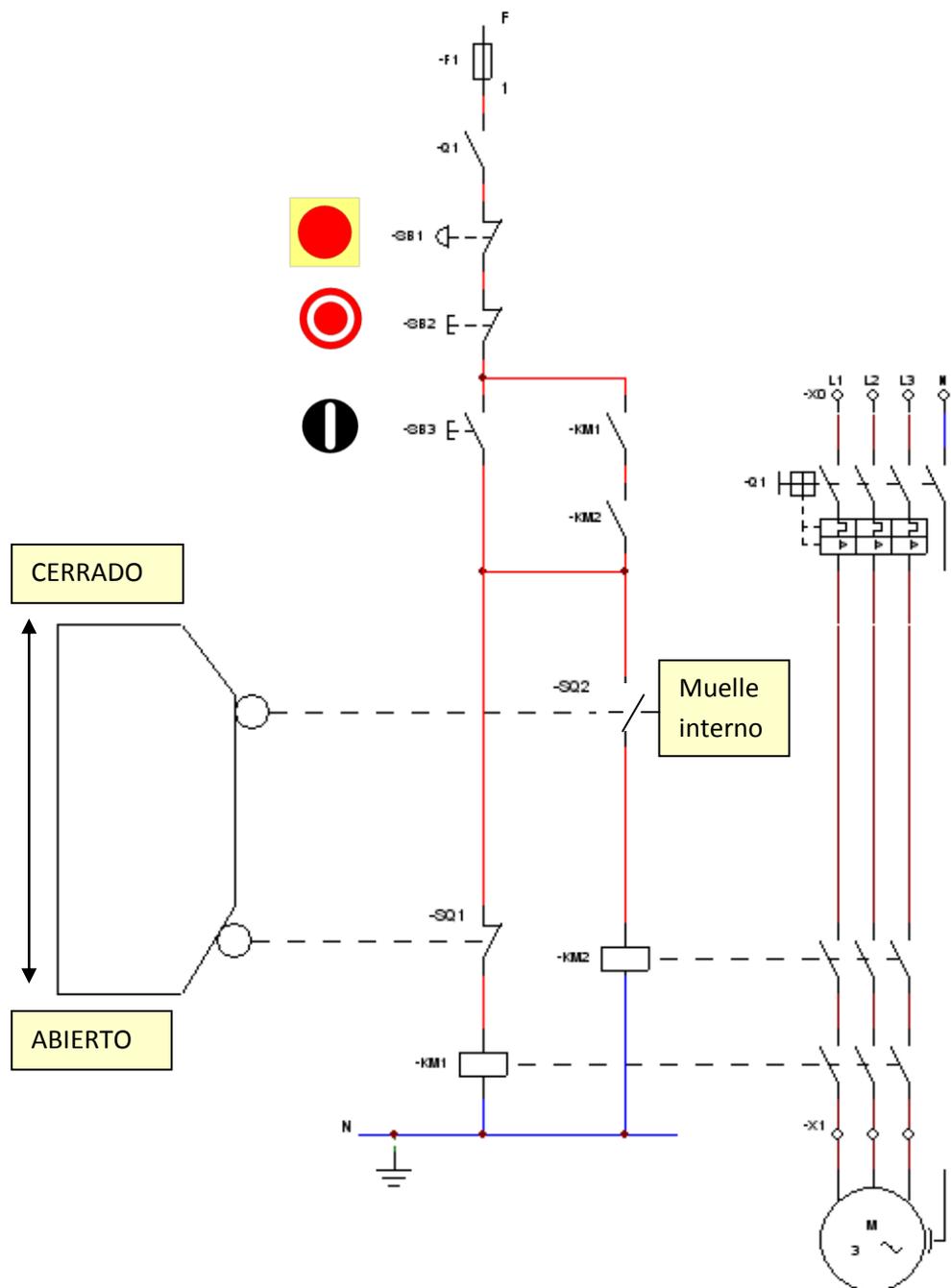
– Los contactos de los relés auxiliares mediante los que se detectan los fallos son (deben ser) de maniobra positiva de apertura, de manera que, si el contacto normalmente cerrado se queda pegado, no sea posible cerrar el contacto normalmente abierto y viceversa, garantizando además, en las condiciones más desfavorables, una distancia mínima de 0,5 mm entre contactos de un elemento de contacto. De acuerdo con la maniobra, el relé tiene que pasar necesariamente por las dos posiciones (activado/desactivado) y, por tanto, si el relé se queda en una de ellas, no se podrá efectuar la secuencia en la que interviene la otra posición del relé.

### Categoría 3

Con la categoría 3 se debe cumplir que un solo fallo o avería de un componente no da lugar a la pérdida de la función de seguridad. Esto implica generalmente el empleo de sistemas redundantes.

Algunos fallos se detectan por la propia maniobra de mando, pero no todos. En consecuencia, una acumulación de fallos no detectados puede dar lugar a la pérdida de la función de seguridad.

La siguiente figura muestra un ejemplo de maniobra de categoría 3 para el enclavamiento entre un resguardo y el motor de accionamiento de un elemento peligroso.



### Descripción del funcionamiento

En este caso el elemento peligroso está accionado por el motor M. Se trata de una maniobra sencilla de puesta en marcha/parada del motor, asociada al enclavamiento entre el resguardo y el arranque/parada del motor. Consta de un contacto Q1, asociado al interruptor magnetotérmico de protección del motor, que impide la puesta en tensión de la maniobra si el interruptor no está conectado a la línea del motor y que desconecta toda la maniobra cuando actúa el relé térmico del interruptor. La maniobra está además provista de un pulsador de parada de emergencia SB1 con su correspondiente bloqueo, un pulsador de parada SB2 y otro de puesta en marcha SB3 y dos interruptores de posición SQ1y SQ2, uno de maniobra positiva de apertura accionado según el modo positivo y el otro según el modo no positivo, que cortan o permiten la alimentación de las bobinas de los dos contactores KM1 y KM2, que a su vez cortan en serie la alimentación del motor M.

Para poner en marcha el motor M, previamente hay que cerrar el resguardo, lo que permite la alimentación a las bobinas de los contactores KM1 y KM2; posteriormente, al ordenar la puesta en marcha, se alimentan las bobinas de KM1 y KM2 y el motor se pone en marcha con el resguardo cerrado. Si por cualquier circunstancia se abre el resguardo, los detectores de posición cortan la alimentación de las bobinas de los contactores y el motor se detiene. El motor también se puede parar sin abrir el resguardo, mediante la maniobra de puesta en marcha/parada del motor.

### Ejemplos de técnicas y componentes de eficacia probada aplicados.

- Protección de la maniobra contra sobrecargas; protección del motor, contra sobrecargas y cortocircuitos lo más ajustada posible (evitar en lo posible el pegado simultáneo de ambos contactores).
- Protección contra los sucesos peligrosos derivados de la puesta a masa del circuito de mando (alimentación del circuito de mando a través de transformador de separación de circuitos, conexión de las masas al circuito de protección equipotencial y conexión del común de las bobinas alimentadas por el transformador a dicho circuito).
- El resguardo actúa sobre dos detectores de posición, uno accionado según el modo positivo y el otro según el modo no positivo.
- Un detector de posición y el pulsador de parada de emergencia son de maniobra positiva de apertura.
- Montaje del resguardo, detectores de posición, etc. según las Normas UNE-EN 1088 y UNE-EN ISO 13857.

### Ejemplos de fallos que no detecta la maniobra.

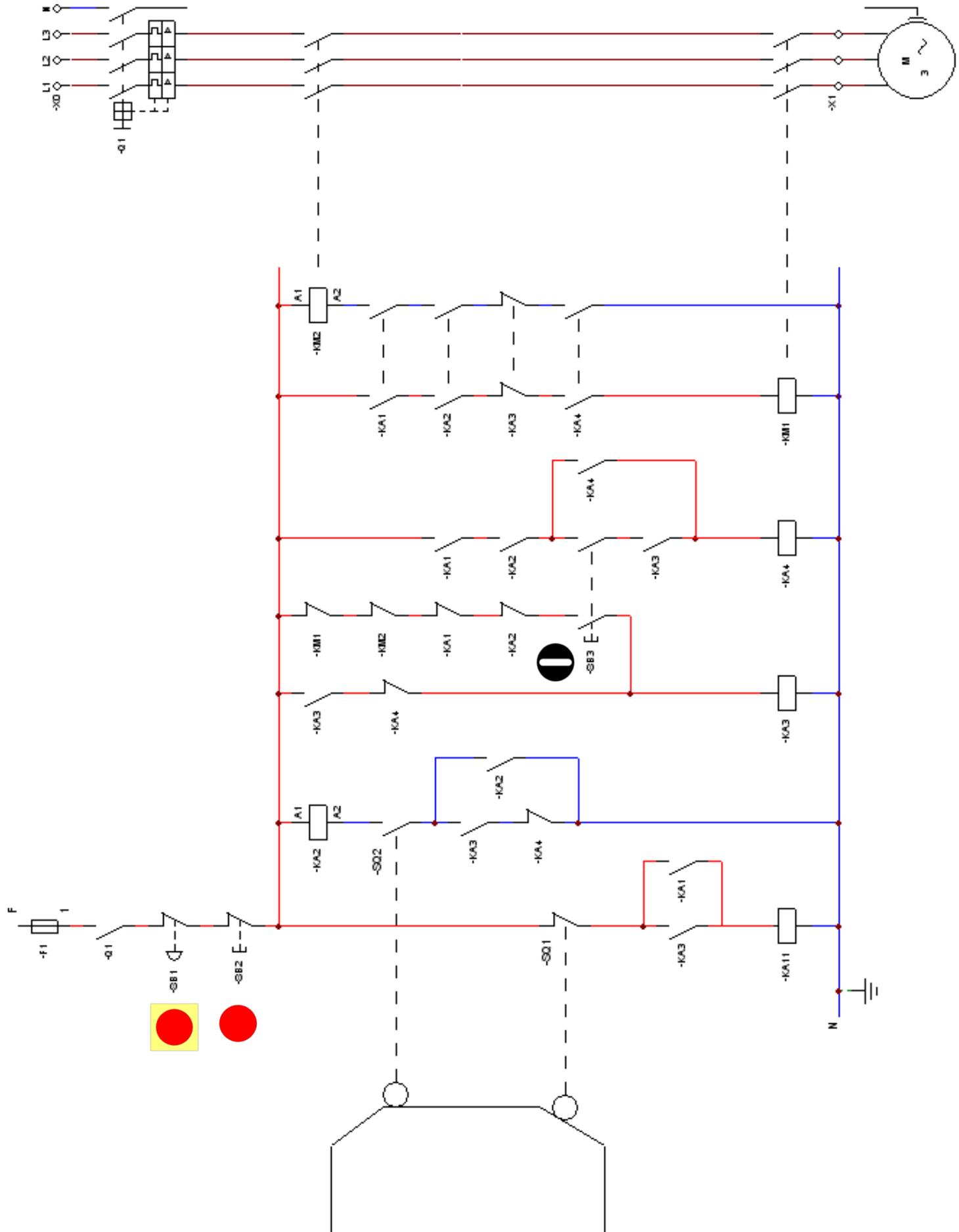
- Fallos en KM1 y/o KM2 (por ejemplo, si se quedan cerrados).
- Fallos en los detectores de posición.
- Puentes entre los conductores de los detectores de posición, sin pasar por tierra.

#### Categoría 4

Con la **categoría 4** se debe cumplir que **el fallo o la avería de un componente no da lugar a la pérdida de la función de seguridad**, lo que implica generalmente el empleo de sistemas redundantes autocontrolados.

El sistema de mando está diseñado de manera que un **solo fallo o avería debe ser detectado** en el momento de, o antes de, la siguiente solicitud de la función de seguridad, dando lugar a una parada inmediata, o a la imposibilidad de continuar con el nuevo ciclo, si no se repara la avería. Si eso no fuera posible, el sistema posee cierta capacidad de detectar fallos o averías que pudieran acumularse, reduciendo aún más la probabilidad de fallo de la función.

La siguiente figura, muestra un ejemplo de maniobra de categoría 4 para el **enclavamiento entre un resguardo móvil y un motor de accionamiento de un elemento peligroso**.



### **Descripción del funcionamiento**

Un resguardo móvil con enclavamiento permite la puesta en marcha de un motor cuando el resguardo está cerrado. El resguardo actúa sobre dos detectores de posición SQ1 y SQ2, uno accionado según el modo positivo y el otro según el modo no positivo.

Las condiciones iniciales son las siguientes:

- Los contactores KM1 y KM2 están caídos (sus contactos auxiliares normalmente cerrados señalizan esta condición).
- Los relés auxiliares KA1 y KA2, para control de los interruptores que detectan la posición del resguardo, están caídos.

Con el resguardo cerrado, al dar la orden de puesta en marcha mediante el pulsador SB3, entra el relé KA3 que hace entrar a KA1 y KA2. Al entrar todos ellos, entra KA4 que hace que caiga KA3 y con ello se cumplen las condiciones para la alimentación de KM1 y KM2 y el motor arranca.

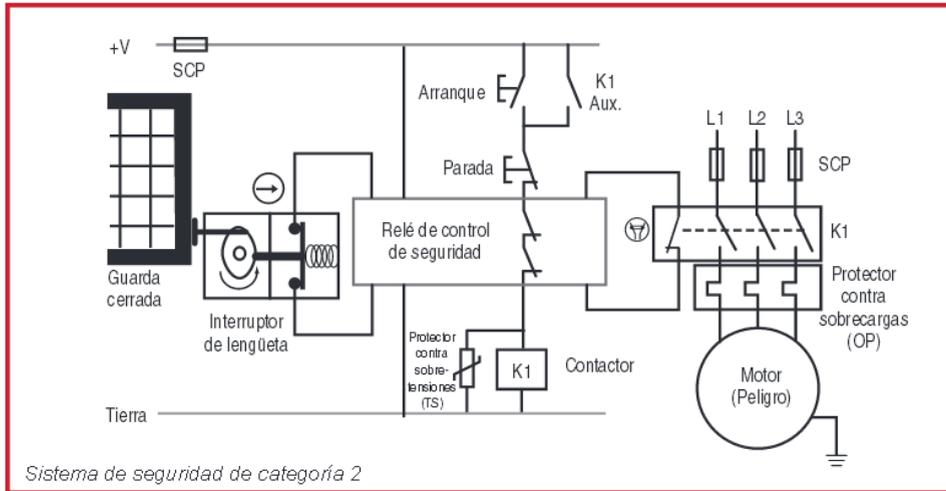
Si se abre el resguardo, caen KA1 y KA2 y, por tanto, los contactores KM1 y KM2, y el motor se detiene. Para una nueva puesta en marcha hay que volver a las condiciones iniciales.

### **Ejemplos de técnicas y componentes de eficacia probada aplicados.**

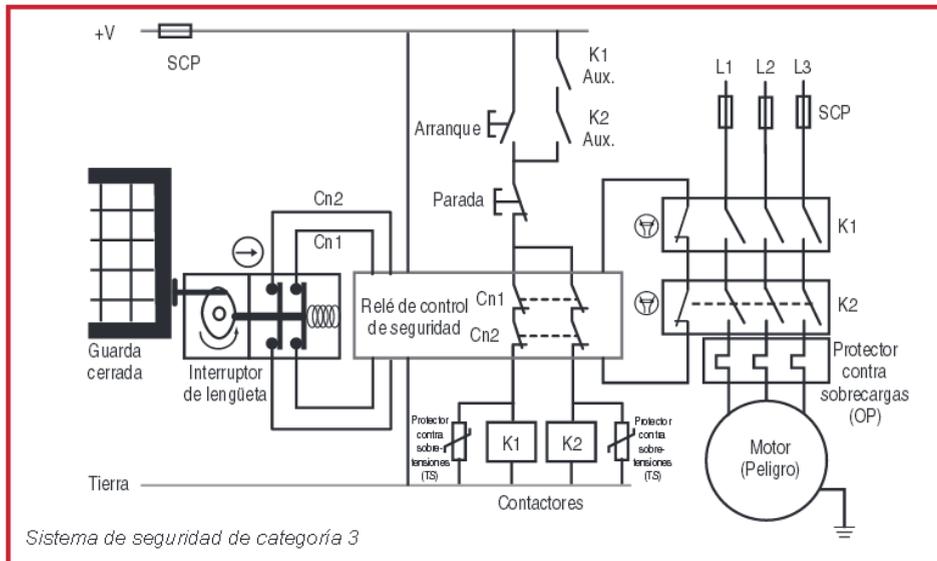
- Protección de la maniobra contra sobrecargas; protección del motor (y del contactor) contra sobrecargas y cortocircuitos lo más ajustada posible.
- Protección contra los sucesos peligrosos derivados de la puesta a masa del circuito de mando (alimentación del circuito de mando a través de transformador de separación de circuitos, conexión de las masas al circuito de protección equipotencial y conexión del común de las bobinas alimentadas por el transformador a dicho circuito).
- El resguardo móvil actúa sobre dos detectores de posición; uno de ellos está accionado según el modo positivo y el otro según el modo no positivo.
- Los relés auxiliares son de maniobra positiva de apertura, con contactos unidos.
- Alimentación cruzada de las bobinas de los relés KA1 y KA2 para evitar que se anule la función de seguridad por puentes entre los conductores que van desde el armario hasta los detectores de posición.
- Los elementos que intervienen en la maniobra de mando se controlan a cada ciclo.

## Realización de categorías de seguridad mediante módulos supervisores de seguridad.

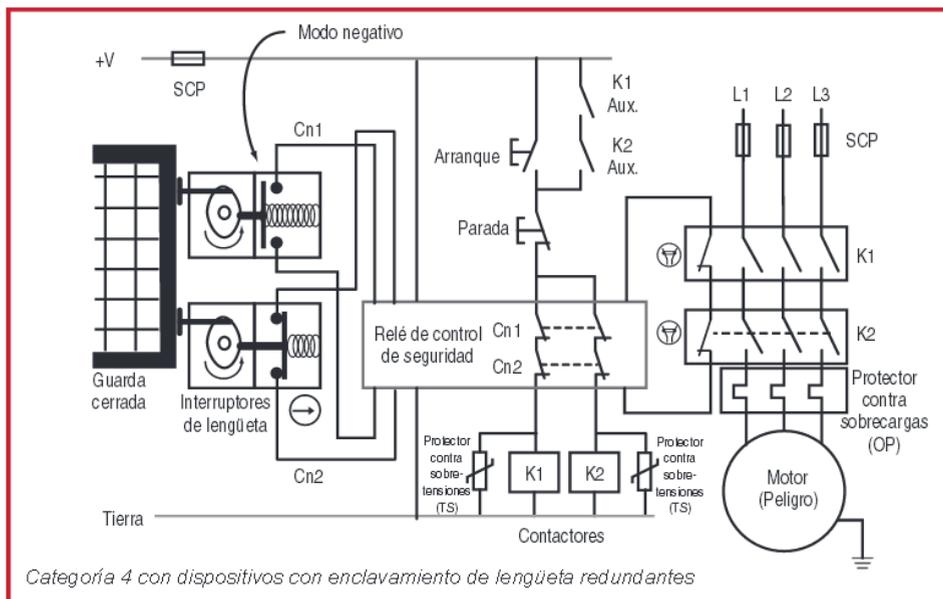
Existen módulos en el mercado para realizar las categorías anteriores de forma relativamente sencilla teniendo en cuenta que interiormente cuentan con circuitos redundantes, de control de puentes entre conductores y circuitos de supervisión. Solamente se tendrá que tener en cuenta el esquema de cableado del circuito externo que indica el fabricante para una categoría determinada.



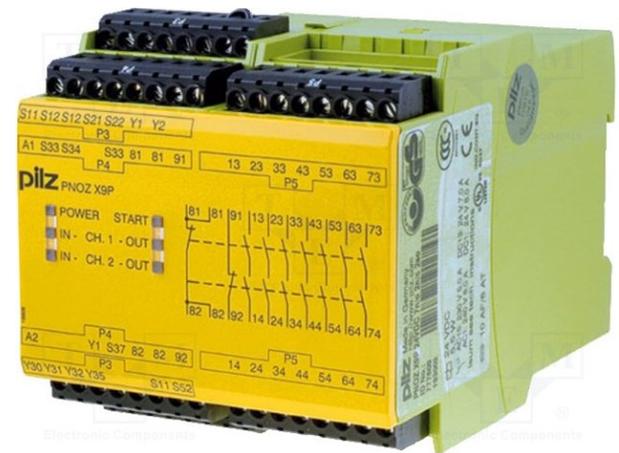
Sistema de seguridad de categoría 2



Sistema de seguridad de categoría 3



Categoría 4 con dispositivos con enclavamiento de lengüeta redundantes



Modelo de módulo de seguridad de Pilz



Modelo de módulo de seguridad de Allen-Bradley

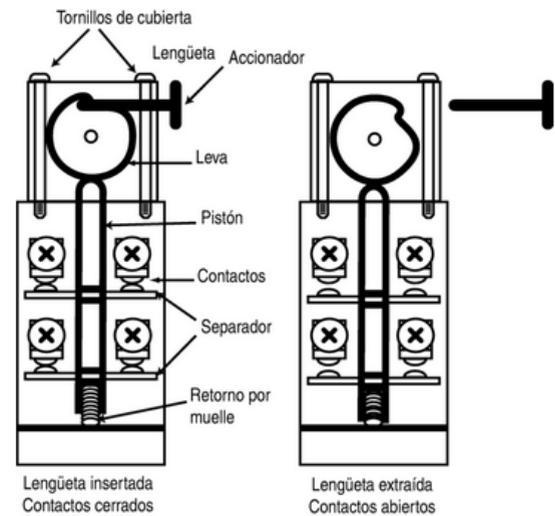
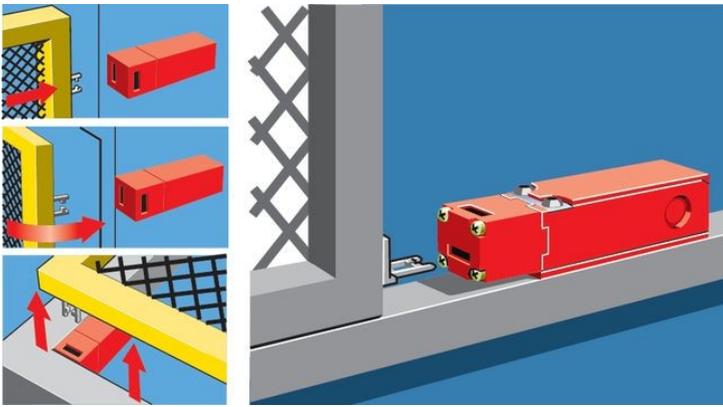
## Dispositivos eléctricos utilizados como parte del sistema de protección.

### Interruptores final de carrera para enclavamientos de posición.



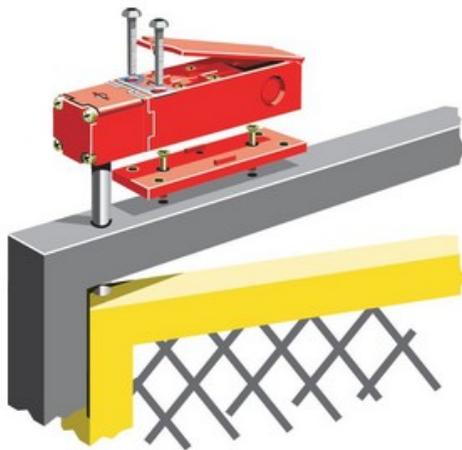
### Interruptores de enclavamiento con lengüeta.

Los enclavamientos operados con lengüeta requieren un accionador con forma de lengüeta que se inserta y se retira del interruptor. Cuando se inserta la lengüeta, los contactos de seguridad internos se cierran y permiten que la máquina funcione. Cuando se retira la lengüeta, los contactos de seguridad internos se abren y envían un comando de paro a las partes relacionadas con la seguridad del sistema de control.



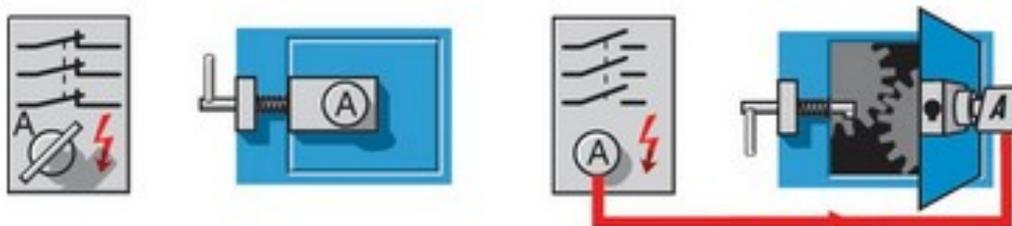
### Interruptores con bisagra.

El dispositivo se monta sobre un perno giratorio en la bisagra de la guarda. La apertura de la guarda se transmite por medio de un mecanismo en funcionamiento de modo positivo hacia los contactos del circuito de control.



### Enclavamiento con atrapamiento de llave.

El método más práctico de enclavamiento eléctrico es un sistema con atrapamiento de llave. El interruptor de aislamiento de alimentación eléctrica funciona con una llave que es atrapada en posición mientras el interruptor está en la posición ACTIVADO. Cuando se gira la llave, los contactos del interruptor de aislamiento se bloquean en posición abierta (aislando la alimentación eléctrica) y se puede retirar la llave. Con esta llave retirada abrimos la puerta de la maquina a la que queremos acceder.

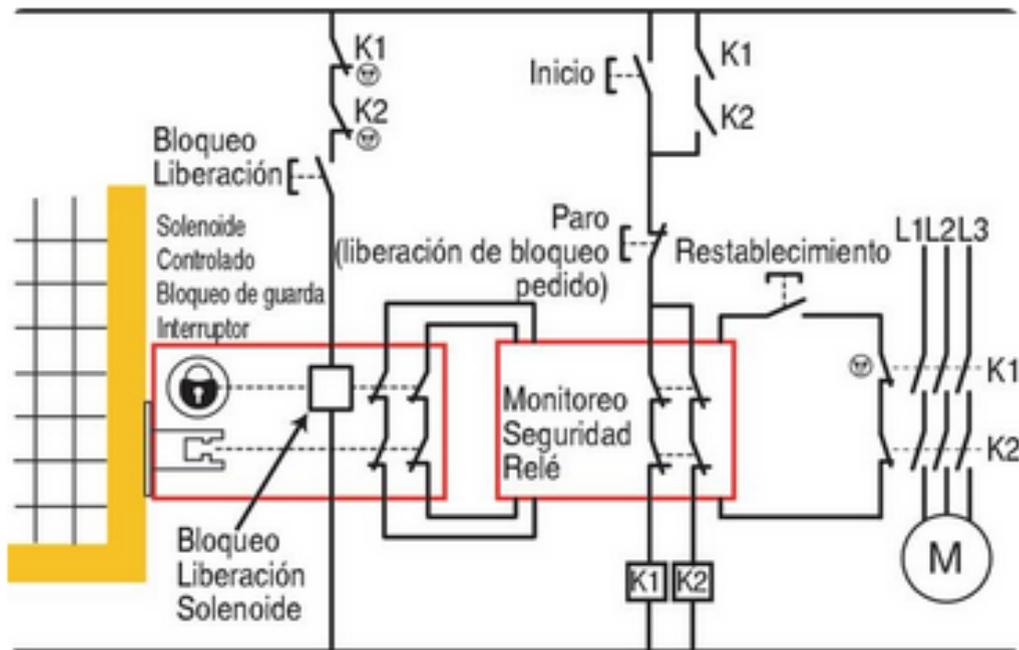


### Interruptores de enclavamiento de guardas.

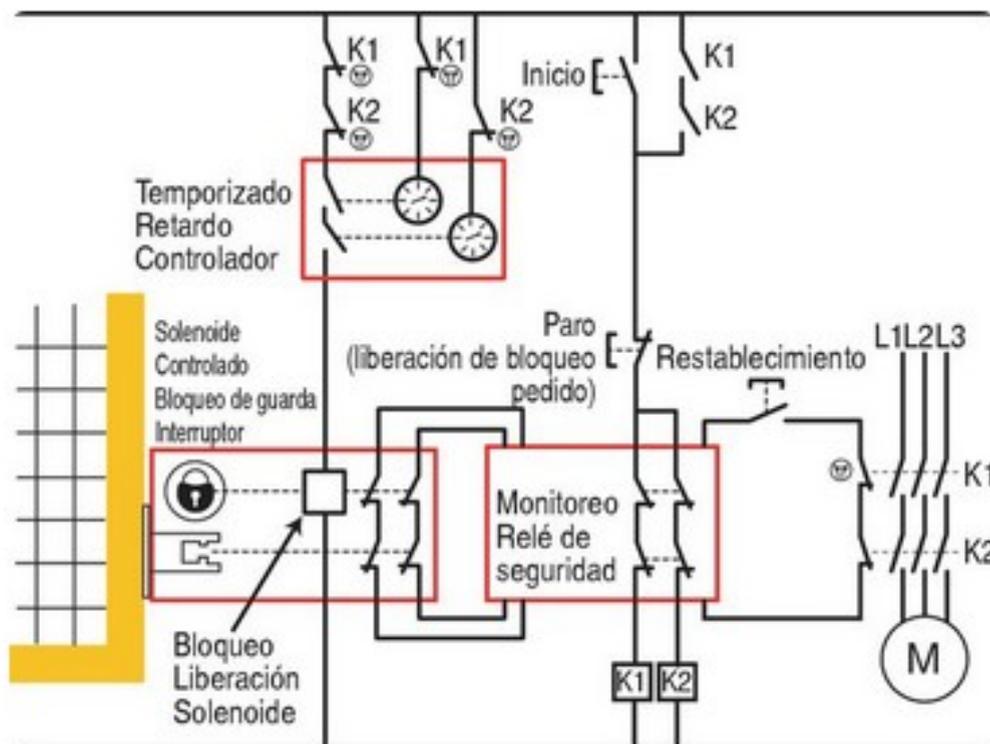
En algunas aplicaciones, es necesario bloquear las guardas cerradas o retardar la apertura de la guarda. Los dispositivos adecuados para este requisito se llaman interruptores de enclavamiento de guarda. Ellos son aplicados a las máquinas con características de desaceleración pero también pueden proveer un incremento significativo de nivel de protección para la mayoría de los tipos de máquina.

Para la mayoría de tipos de interruptores con enclavamiento y bloqueo de guarda, la acción de desbloqueo es condicional al recibo de algún tipo de señales eléctricas, por ejemplo un voltaje eléctrico para energizar un solenoide de liberación de bloqueo. Este principio de desbloqueo condicional hace que el interruptor de bloqueo de guarda accionado por solenoide sea un dispositivo útil y adaptable. Mientras que con la mayoría de los dispositivos la función de seguridad se logra deteniendo la máquina, los interruptores de bloqueo de guarda también evitan el acceso a la máquina y el reinicio de la misma cuando el bloqueo es liberado. Debido a esto, estos dispositivos pueden realizar dos funciones de seguridad separadas pero interrelacionadas: prevención de acceso y prevención de movimiento peligroso. Esto significa que estos interruptores son fundamentalmente importantes en el campo de la seguridad de la maquinaria.

Esquema de interruptor de enclavamiento de guarda de solenoide básico simplificado.

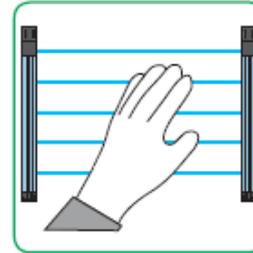
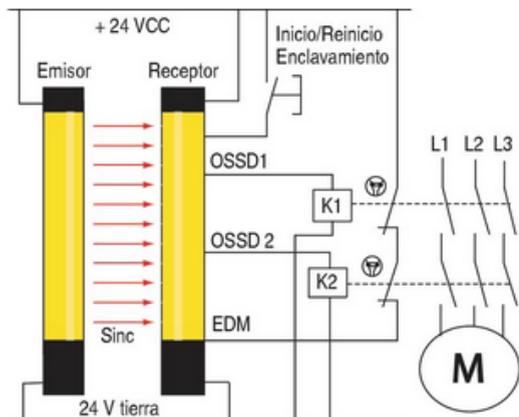


Esquema de retardo temporizado de interruptor de bloqueo de guarda con solenoide controlado.



### Barreras inmateriales para detectar la aproximación a áreas peligrosas.

Las cortinas de luz de seguridad consisten en una pareja de emisor y receptor que crea una barrera de haces múltiples de luz infrarroja en la parte delantera, o alrededor, de un área peligrosa. El emisor está sincronizado con el receptor por medio de un haz fotoeléctrico más cerca de un extremo del envolvente. Para eliminar la sensibilidad a disparos falsos atribuidos a la luz ambiental e interferencia (comunicación cruzada) de otros dispositivos optoelectrónicos, los LED's en el emisor son pulsados a una frecuencia específica (frecuencia modulada), con cada LED pulsado secuencialmente para que un emisor solo pueda afectar al receptor específico asociado a él. Cuando todos los haces han sido revisados, el scán comenzará nuevamente.



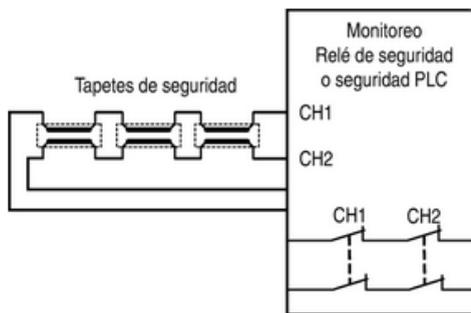
Las barreras inmateriales normalmente se utilizan en aplicaciones de mantenimiento, packaging, cintas transportadoras, en las tareas de almacenamiento y otras aplicaciones. Se han diseñado para la protección de las personas que operen o trabajen en la cercanía de las máquinas, deteniendo los movimientos peligrosos de las partes en el momento en el que se corten los haces de luz. Hacen posible la protección de las personas y permiten al mismo tiempo un acceso libre a las máquinas. La ausencia de puertas y protecciones reduce el tiempo necesario para cargar, inspeccionar o realizar ajustes y facilita el acceso.

### Tapices de seguridad sensibles a la presión.

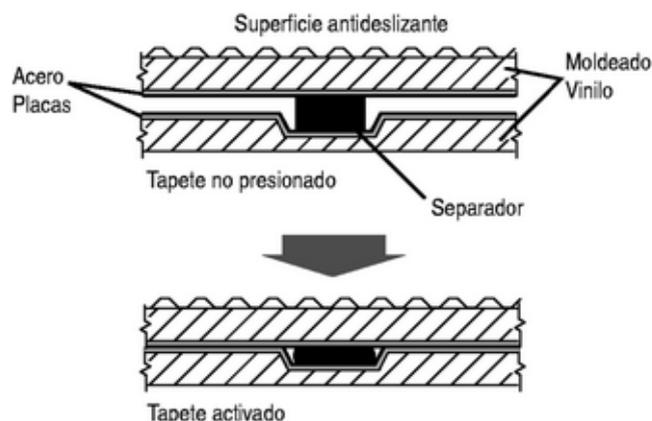
Estos dispositivos son utilizados para proporcionar protección al área del suelo próxima a la máquina. Una matriz de tapetes interconectados se coloca alrededor del área peligrosa y la presión aplicada al tapete (por ej., una pisada del operador) ocasionará que la unidad de control del tapete desconecte la corriente eléctrica en la zona de peligro.



Interface del tapete de seguridad.



Funcionamiento del tapete de seguridad.



### Bordes sensibles a la presión.

Estos dispositivos son tiras flexibles que pueden montarse al borde de una parte móvil, tal como una mesa de máquina o puerta eléctrica la cual constituye un riesgo de trituración o corte.

Si la parte móvil golpea al operador (o viceversa), el borde sensible flexible se oprime y desactivará la fuente de energía de la parte peligrosa. Los bordes sensibles también pueden utilizarse para proteger la maquinaria donde existe riesgo de que el operador se enganche. Si la máquina atrapa a un operador, el contacto con el borde sensible desactivará la alimentación eléctrica de la máquina.

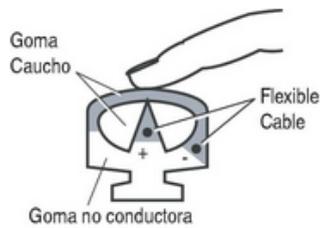


Figura 49: Borde de seguridad de caucho conductor

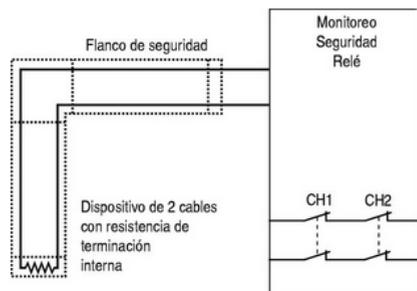


Figura 50: Circuito de borde de seguridad de caucho conductor

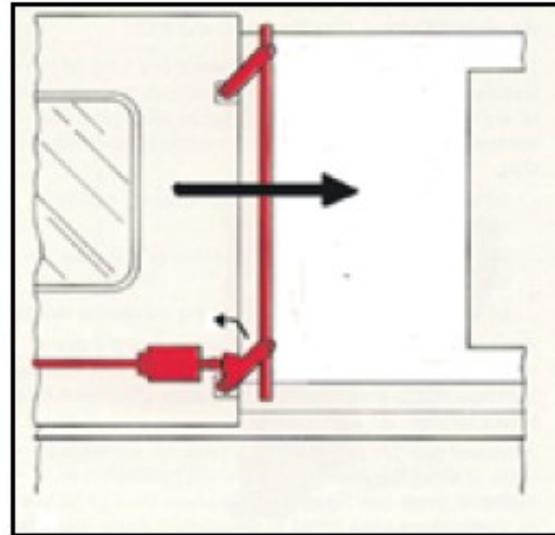


Figura J12. Barra sensible

### Escáneres láser de seguridad.

Los escáneres láser de seguridad utilizan un espejo giratorio que desvía los impulsos de la luz sobre un arco, creando un plano de detección. La ubicación del objeto está determinada por el ángulo de rotación del espejo. Utilizando una técnica de "tiempo de vuelo" de un haz reflejado de una luz invisible, el escáner también puede detectar la distancia a la cual se encuentra el objeto. Si se toma la distancia medida y la ubicación del objeto, el escáner láser determinará la posición exacta del objeto.

Los escáner láser crean dos zonas: 1) una zona de advertencia y 2) una zona de seguridad. La zona de advertencia proporciona una señal que no desactiva el peligro e informa a las personas que se están acercando a la zona de seguridad tal como puede observarse en la Figura 35. Los objetos que ingresan o que se encuentran dentro de la zona de seguridad hacen que el escáner láser emita un comando de paro; las salidas OSSD se apagan.

La forma y el tamaño del área protegida es configurada por un programa de software integrado y que puede descargarse desde el escáner. El cálculo de la distancia de seguridad debe utilizarse para determinar el tamaño adecuado de la zona de seguridad.

Una ventaja del escáner láser sobre las cortinas de luz o los tapetes es la habilidad para re configurar el área. La figura muestra un ejemplo del campo de advertencia configurado para ignorar los objetos estructurales.



### Mandos bimanuales e interruptores de pedal

Se utilizan para garantizar que el operario se encuentra lejos del área de peligro al realizar movimientos peligrosos (por ejemplo, recorrido descendente en aplicaciones de prensa).

Sirven de protección principalmente al operario de la máquina. Se puede proporcionar protección complementaria para el personal con otras medidas, como la colocación de barreras inmateriales.



**Mandos de validación para permitir el acceso en condiciones específicas de riesgo reducido** (interruptor de “hombre muerto”).

- Para funciones de mantenimiento, puesta en marcha, ajuste, etc. (por ejemplo, avance lento), con una posición central y 2 posiciones de “no funcionamiento” (totalmente liberado o apretado).



### Medidas protectoras complementarias - Parada de emergencia

Aunque las paradas de emergencia son necesarias para todas las máquinas (la Directiva de Máquinas tan sólo permite dos excepciones específicas) no se consideran un medio fundamental para la reducción de riesgos. Se consideran “medidas protectoras complementarias”. Se utilizan únicamente como **sistema complementario en caso de emergencia**. Deben ser robustas, fiables y estar disponibles en todas las posiciones en las que pueda ser necesario accionarlas.

Las paradas de emergencia en la maquinaria deben ser “antifraudes”. Es decir, su diseño debe garantizar que aunque se pulse el botón muy lentamente o se tire del cable, si el contacto, que normalmente está cerrado se abre, el mecanismo debe enclavarse. Esto evita “usos fraudulentos”, que pueden derivar en situaciones peligrosas. También debe darse lo contrario, es decir, que el enclavamiento no debe producirse a menos que se abra el contacto de NC. Los dispositivos de parada de emergencia deben cumplir con EN IEC 60947-5-5.

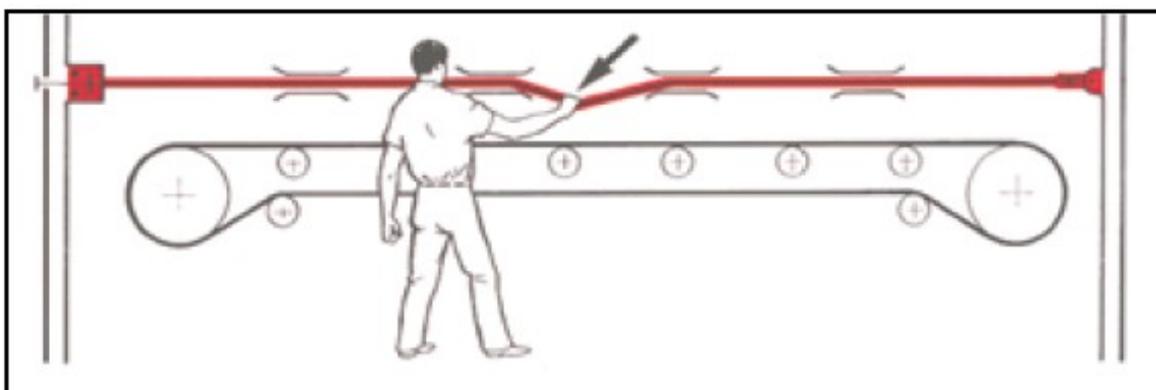
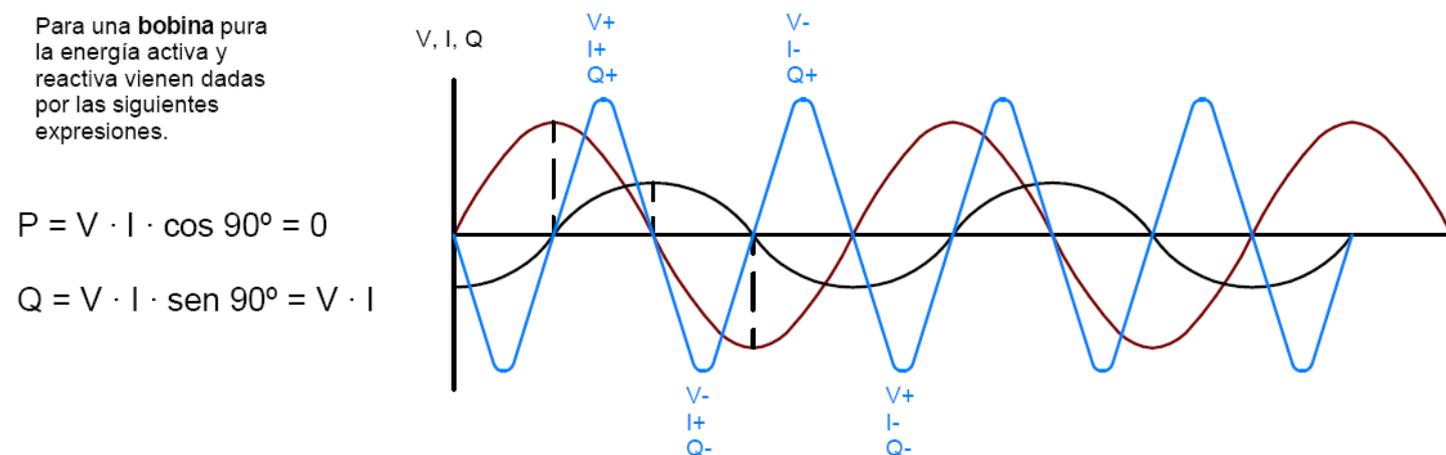


Figura J13. Cable de parada

## Compensación de energía reactiva.

La energía reactiva en corriente alterna es aquella que se almacena en forma de energía magnética en una bobina y en forma de energía potencial en un condensador; es decir, es energía que se utiliza para crear un campo magnético en una bobina y un campo electrostático (separación de cargas) en un condensador, con la particularidad de que esa energía no se consume sino que las bobinas y condensadores devuelven dicha energía un determinado tiempo después de que es almacenada.



¿Por qué se debe compensar esta energía entonces si el sistema no la consume?

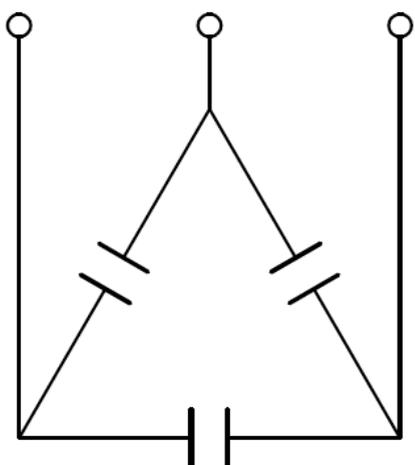
El sistema no la consume, pero el hecho de que un receptor consuma energía reactiva hace que el consumo de activa sea mayor que si el sistema no consumiese dicha reactiva; es decir, el hecho de que existan consumidores de reactiva aumenta de forma indirecta el consumo de energía.

Para determinadas potencias de contrato se está obligado a colocar contadores de energía reactiva que penalizan o bonifican la factura de la Cía. Eléctrica según el consumo de energía reactiva que se tenga.

En aquellos circuitos en los que hay presentes bobinas, se produce un retraso de paso de corriente respecto de la tensión cuando se aplica una tensión alterna. Este comportamiento es típico de los circuitos inductivos. Por el contrario, en los circuitos capacitivos (aquellos en los que hay conectados condensadores) el efecto es el contrario; la corriente se adelanta a la tensión. Si sobre un circuito de comportamiento inductivo conectamos un condensador, el circuito se comportará como menos inductivo; es decir, el retraso de la intensidad será menor. Si la potencia del condensador es mayor que la del elemento inductivo, el circuito pasará a comportarse como capacitivo.

La consecuencia práctica de este efecto es que si un circuito tiene un bajo factor de potencia porque se comporta como inductivo, podrá mejorarse mediante la conexión de condensadores en paralelo con la carga.

En las instalaciones industriales se hace uso, normalmente, de redes trifásicas, por lo que los condensadores a emplear deben ser, también trifásicos. En realidad, un condensador trifásico está compuesto por tres condensadores monofásicos conectados en triángulo.



$$Q = 3 \times U^2 \times \omega \times C$$

Q = potencia del condensador, en voltiamperios reactivos (Var).

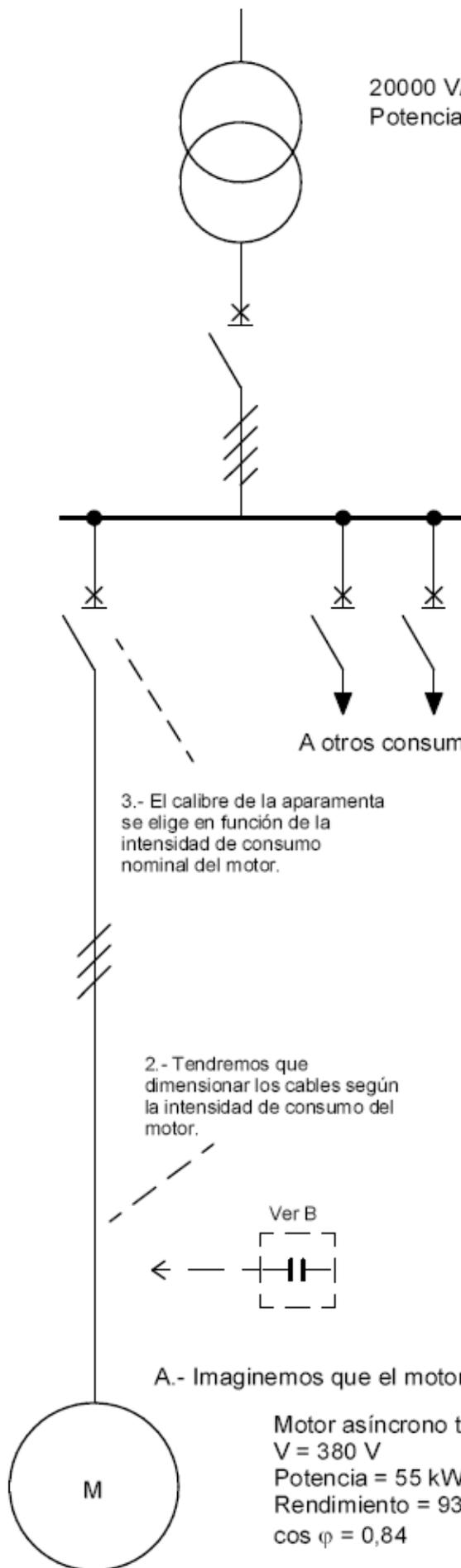
U = tensión aplicada al condensador, en voltios.

$\omega$  = pulsación ( $2 \times \pi \times f$ , donde  $f = 50$  Hz).

C = capacidad del condensador, en Faradios (F).

Por lo general, los condensadores destinados a la mejora del factor de potencia no se denominan por su capacidad, sino por su **potencia, medida en kilovoltamperios reactivos (kVAr) y por su tensión nominal, medida en Voltios (V).**

Justificación de la compensación de energía reactiva.



4.- La potencia del transformador se elégira según las intensidades de consumo; cuanta menos intensidad tenga que aportar, de menor potencia será y su coste será menor. Si ya tenemos un transformador le podremos añadir mas receptores sin sobrecargar dicho transformador.

B.- Imaginemos que de alguna manera conseguimos que el factor de potencia del motor sea igual a 1.

La intensidad que circulará por la línea del motor aguas arriba de la conexión de los condensadores será:

$$I = \frac{55000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 1 \cdot 0,93}$$

$$I = 89,9A$$

Como podemos ver la intensidad de consumo nos baja apreciablemente. Los cables podrían ser de sección mas pequeña (habría que verlo). La aparatenta podría ser de un calibre mas bajo. Tendríamos menos perdidas en los conductores por efecto Joule. La **factura eléctrica** resultaría mas barata.

Regulación de las protecciones. IMPORTANTE.

Después de realizar la compensación fija de un motor, la intensidad eficaz consumida por el conjunto motor-condensador es más baja que antes. En consecuencia, se deberán reajustar las protecciones del motor según la siguiente relación.

$$\text{Factor de reducción} = \frac{\cos \varphi \text{ inicial}}{\cos \varphi \text{ final}}$$

Esto se realizará siempre que los condensadores estén aguas abajo de las protecciones.

A.- Imaginemos que el motor tiene los siguientes datos nominales.

Motor asíncrono trifásico  
V = 380 V  
Potencia = 55 kW.  
Rendimiento = 93 %  
cos φ = 0,84

$$P_{\text{util}} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta \longrightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$I = \frac{55000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,93}$$

$$\frac{P_{\text{util}}}{P_{\text{eléctrica}}} = \eta$$

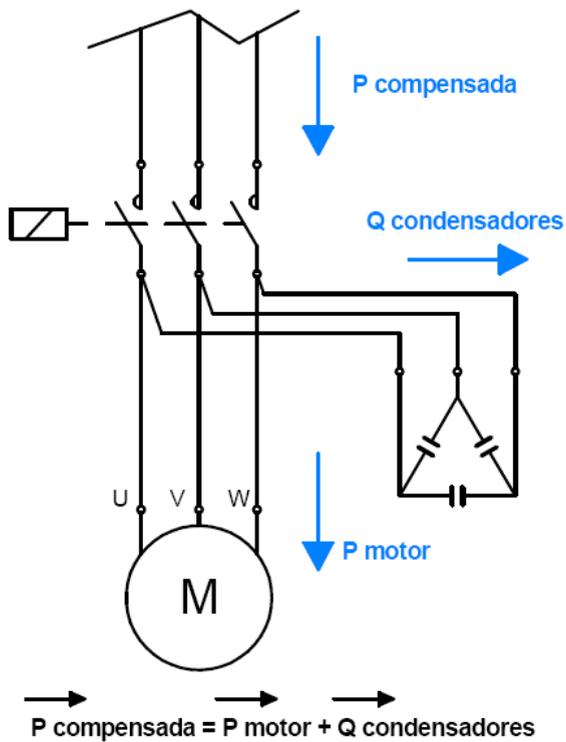
1.- Intensidad por fase que consume el motor en condiciones de carga nominal

$$I = 107A$$

## Instalación practica de condensadores.

Se efectúa conectando en paralelo condensadores en cada fase de los motores. Se distinguen los siguientes casos:

**Compensación unitaria:** Cuando se procede a la compensación de receptor por receptor.



Para el caso de motores.

El factor de potencia varía de forma considerable en función de la carga mecánica aplicada al motor.

Para evitar una sobrecompensación, se elige la **potencia del condensador**, de forma que cubra las necesidades de potencia reactiva cuando el motor trabaja en vacío; de esta forma obtenemos un  $\cos \varphi = 1$  en vacío y  $\cos \varphi = 0,95$  a plena carga (por ejemplo)

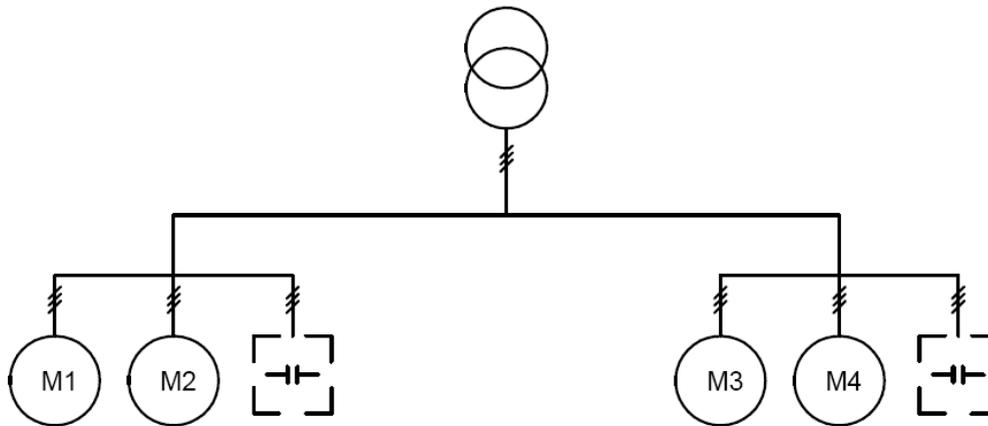
Esto es así ya que la potencia reactiva que consume el motor en vacío es menor que la que consume en carga. Según lo anterior si elegimos la potencia reactiva en vacío para dimensionar la batería de condensadores el motor al trabajar a plena carga va a demandar una potencia reactiva mayor por lo que el  $\cos \varphi$  compensado va a ser menor que en el caso del motor trabajando en vacío.

La conexión se realiza directamente a bornes del motor sin precisar **resistencias de descarga**, ya que el **devanado del motor sirve para este fin**. Las resistencias de descarga sirven para descargar la energía almacenada en los condensadores cuando se desconecta el motor; si no se descargasen los condensadores se podrían producir situaciones peligrosas.

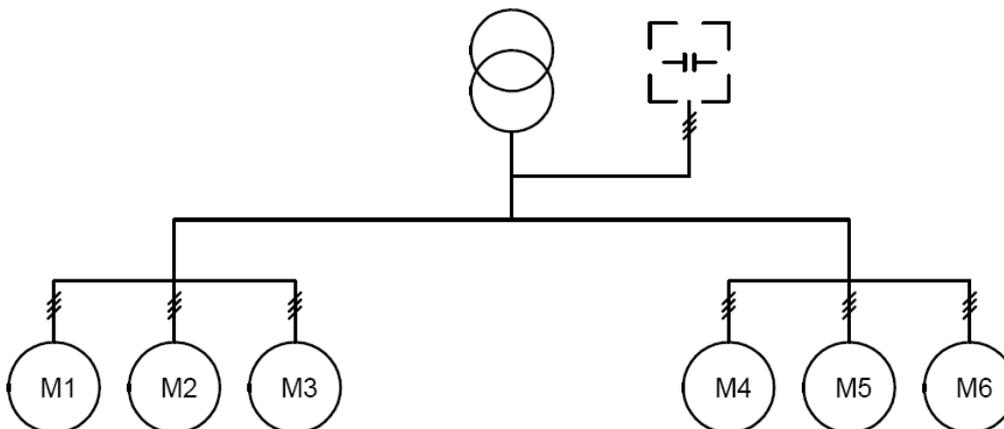
En este sistema de compensación, debe tenerse presente que el motor se comporta de forma distinta a cuando no tiene el condensador conectado en bornes. El condensador mantiene durante un tiempo determinado la tensión en bornes del motor, incluso después de quedar desconectado de la red, de forma que puede haber autoexcitación si la potencia del condensador es elevada. **Por este motivo, en algunas aplicaciones no es posible la utilización de este tipo de esquema (ver ejemplo en la siguiente página).**

NOTA: Hay que volver a calibrar las protecciones.

**Grupos de compensación:** cuando se compensan los receptores por grupos, generalmente los alimentados por un mismo ramal, mediante una batería de condensadores.



**Compensación central:** cuando en el conjunto de una instalación se dispone de una única batería de condensadores capaz de absorber, en grado deseado, la energía reactiva de toda la instalación.



## El fenómeno de la autoexcitación.

Si tras la desconexión de la red del motor éste sigue girando debido a la inercia, la descarga de los condensadores sobre él, puede originar que pase a funcionar como alternador y aparezcan tensiones peligrosas para el motor y para los condensadores en los bornes de dicho motor.

Para evitar la autoexcitación se puede limitar la potencia de compensación:

Para condensadores fijos instalados en bornes del motor el valor máximo de potencia reactiva a instalar se calcula de la siguiente forma.

Los condensadores a instalar en los bornes de los receptores, no sobrepasarán el 90 % de la corriente magnetizante del motor; es decir, la corriente que nos va a suministrar la batería de condensadores va a ser el 90 % de la corriente del motor en vacío.

$$Q_c = 0,9 \cdot I_0 \cdot U_n \cdot \sqrt{3}$$

$Q_c$  = potencia reactiva en Var.

$I_0$  = intensidad magnetizante (en vacío) en A.

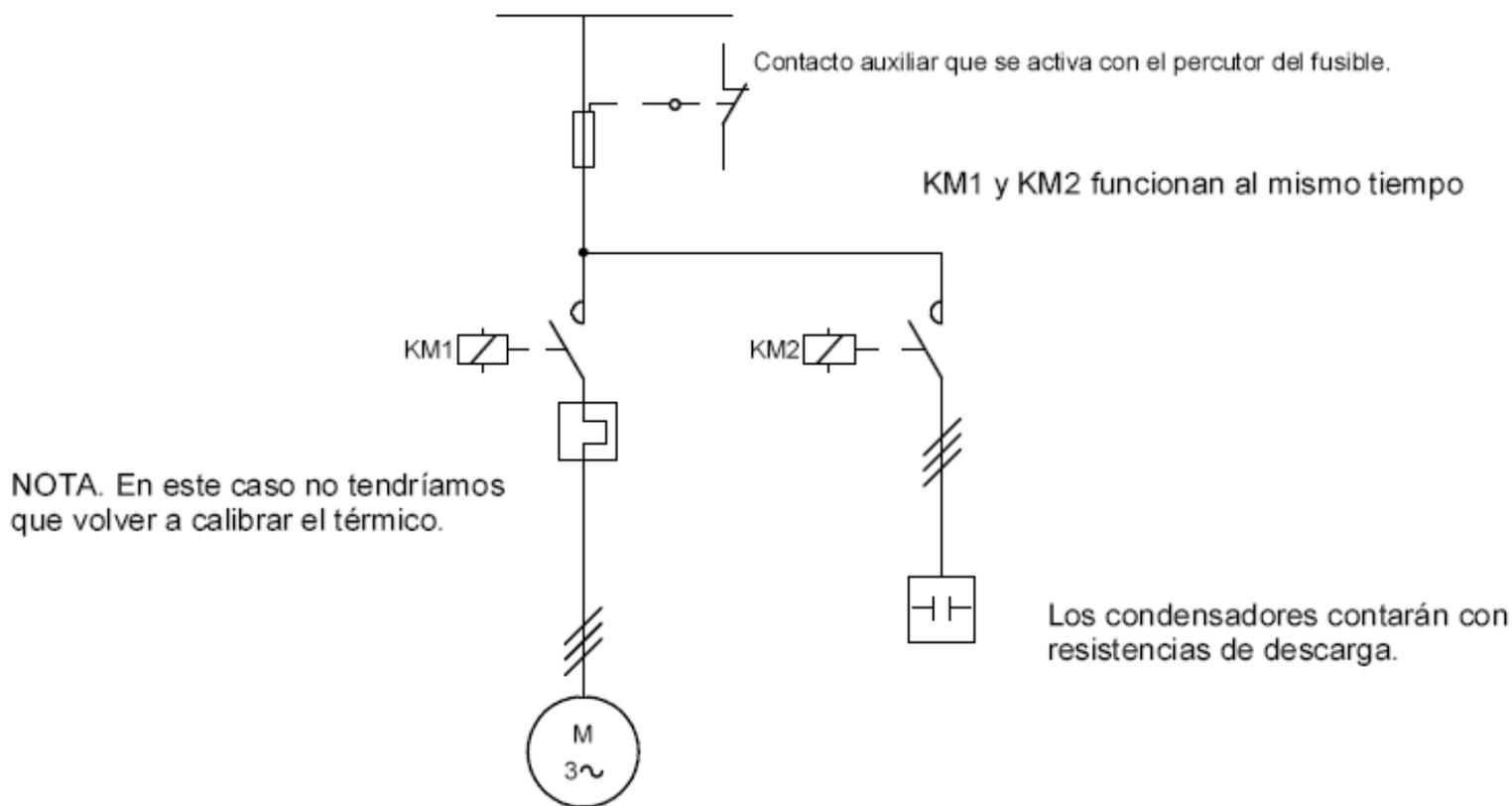
$U_n$  = tensión de la instalación en V.

Otra manera de evitar la autoexcitación es la compensación fija accionada por contactor. De esta forma se puede compensar la totalidad de la potencia reactiva en vacío.

Se instalarán los condensadores aguas arriba del dispositivo de arranque del motor (arranque directo, arranque estrella-triángulo, etc...) Cuando se abra el circuito de alimentación al motor se debe abrir también el circuito de alimentación de los condensadores.

En la práctica, los condensadores llevan incorporados resistencias a través de las que se descargan cuando se desactiva el motor o carga a la que acompañan. Estas resistencias pueden estar acopladas permanentemente a los condensadores (y consumir una energía mínima cuando estas están conectadas a la red), o estar acopladas a ellos solamente cuando los condensadores se desconectan de la red.

Lo anterior queda recogido en la ITC-BT-43 Apto: 2.7, del REBT.



Otra cuestión a tener en cuenta es que si se fundieran los fusibles de protección del motor los condensadores se deberían **desconectar de la red** de forma que no se pudiesen producir sobreexcitaciones.

En el caso de la figura anterior esto se realizaría mediante el contacto NC asociado a los fusibles, en el circuito de mando de los contactores.

## En la compensación individual de motores deberán tomarse precauciones en casos concretos.

Motores con funcionamiento intermitente en que no se da el suficiente tiempo para la descarga del condensador. En estos casos una reconexión con el condensador en oposición de fase puede llegar a producir picos de tensión de hasta  $2\sqrt{2}$  veces la tensión de servicio, resultando recomendable la descarga por inductancias.

En motores de grúas que pueden ser impulsados por la carga pueden también producirse sobretensiones por el fenómeno de autoexcitación, sobre todo por el hecho de que el motor puede funcionar a más revoluciones que las de sincronismo.

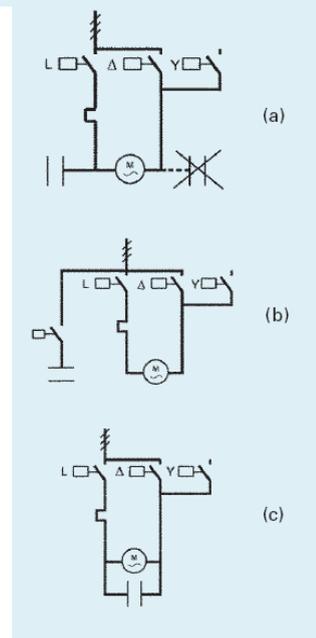
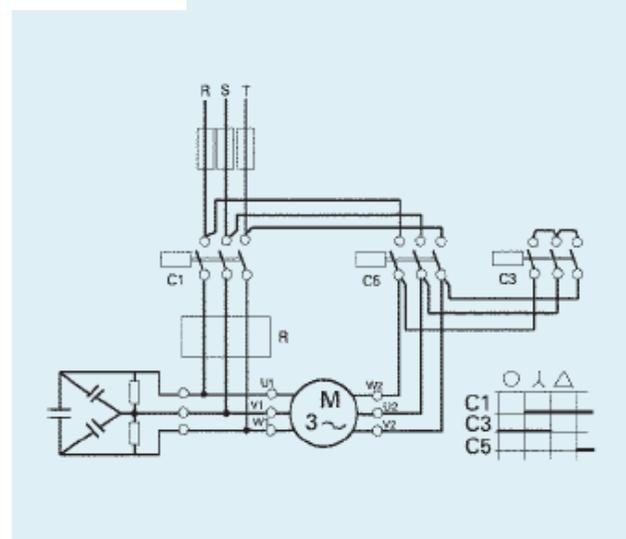
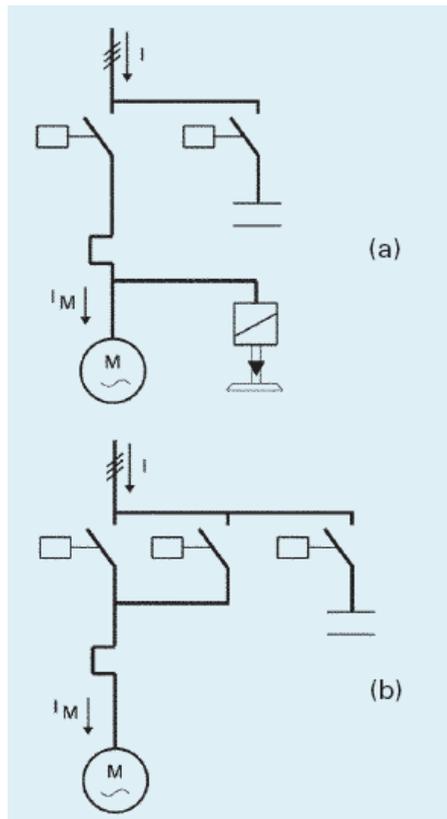
Deberá tenerse en cuenta la influencia de la descarga del condensador, con su efecto retardador en la actuación de frenos electromagnéticos. Este puede ser el caso en instalaciones de elevación, tales como ascensores, grúas, etc... En estas instalaciones es conveniente conectar el condensador a través de un contactor y no directamente a bornes del motor.

En inversores, si la inversión de marcha se produce directamente, con un tiempo de inversión muy corto, será conveniente, como en el caso anterior conectar el condensador a través de un contactor independiente.

En un arranque estrella-triángulo, el condensador sigue bajo tensión durante la transición de estrella a triángulo. No se produce la descarga sobre el motor; por tanto deberán preverse resistencias de descarga como se indica con más detalle en la siguiente figura donde se acompaña un diagrama de la secuencia de la transición del arrancador. Si se tratara de otro tipo de arrancador en donde el paso de estrella a triángulo supusiese dejar sin tensión el motor, como podría ser el caso de arrancadores con conmutadores manuales, este esquema debería descartarse.

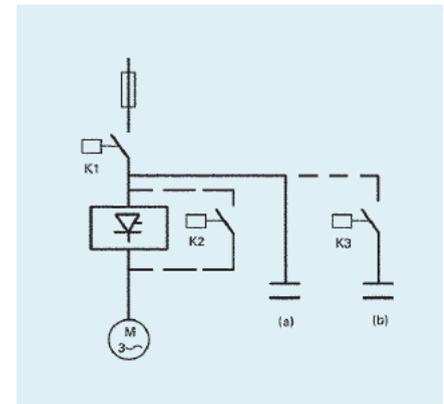
Deberá tenerse en cuenta el cambio de regulación del relé térmico si el condensador se conecta después de este. La conexión en el lado triángulo debe descartarse por el problema de conmutación de fases en el condensador (fig.a). En la alternativa (fig. b) no caben excepciones y no es necesario el cambio del ajuste del relé térmico. El contactor del condensador puede ser excitado simultáneamente con el contactor de línea o de triángulo, debiendo preverse resistencias de descarga en el condensador.

Otra solución actualmente poco utilizada es la compensación con un condensador de 6 terminales conectado directamente a bornes del motor. Al desconectar el contactor estrella se inicia la descarga del condensado, aunque no puede completarse debido a la tensión residual del motor a causa de la rotación. Por tanto al pasar a triángulo se puede producir cierta oposición de fases y en consecuencia corrientes de conexión relativamente elevadas (fig.c).



Por otra parte debe ajustarse de nuevo la regulación del relé térmico a consecuencia de la corriente del condensador.

En arrancadores estáticos no es recomendable conectar el condensador a bornes del motor ya que la punta de corriente del transitorio de conexión del condensador, podría dañar los semiconductores de potencia del arrancador. La compensación se realiza según indica la figura siguiente.



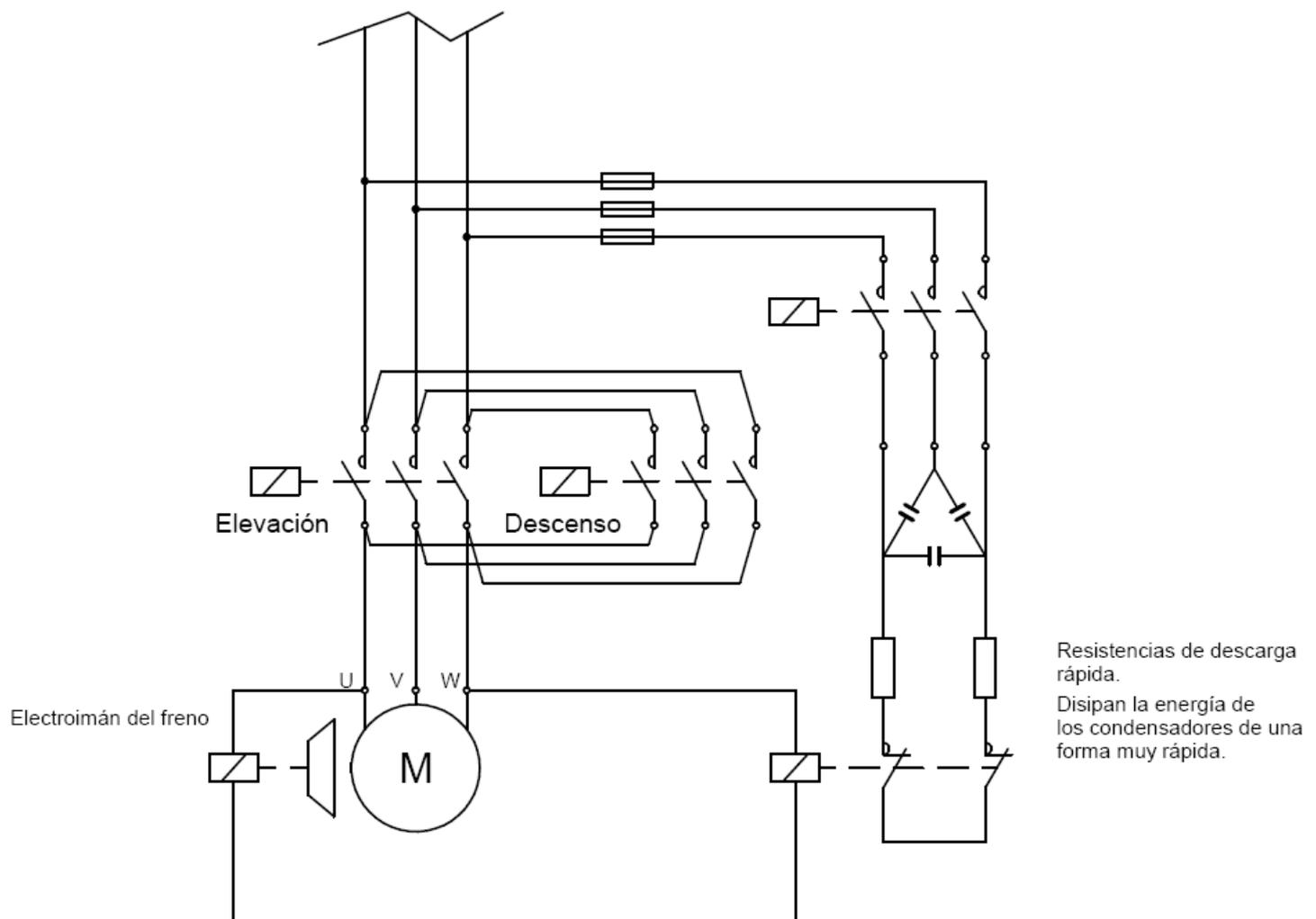
### Mejora del factor de potencia en aparatos de elevación.

Los aparatos de elevación suelen tener unos frenos de electroimán que paran el motor automáticamente al desconectarlo de la red.

Si en el motor de un aparato de elevación se quiere conectar un condensador para compensación de energía reactiva, la tensión que proporciona el condensador tras desconectar el motor de la red, impedirá que actúe el freno del electroimán, con lo cual el sistema funcionara de forma incorrecta.

El esquema siguiente indica la forma correcta de realizar la compensación de energía reactiva en este tipo de aplicaciones.

Dada la elevada frecuencia de maniobra, debe disponerse de resistencias de descarga rápida tal como se indica.



### Calculo del factor de potencia.

El factor de potencia de una instalación depende del factor de potencia de cada uno de los receptores que la componen. Es, por lo tanto, muy importante conocer sus comportamientos en lo que se refiere al consumo de energía. A continuación se resumen algunos valores orientativos de los factores de potencia de los aparatos más comunes.

| Aparato                                      | Factor de potencia |
|--|--------------------|
| Motores asíncronos ordinarios cargados al 0% | 0,17               |
| “ 25%  | 0,55               |
| “ 50%  | 0,73               |
| “ 75%  | 0,80               |
| “ 100%                                       | 0,85               |
| <b>Lámparas de incandescencia</b>            | <b>1</b>           |
| Luminarias fluorescentes                     | 0,50               |
| Luminarias de descarga                       | 0,40 a 0,60        |
| <b>Hornos de resistencias</b>                | <b>1</b>           |
| Hornos de inducción                          | 0,85               |
| Equipos de soldadura al arco                 | 0,70 a 0,90        |
| Hornos de arco                               | 0,80               |
| Calentadores de inducción                    | 0,93               |

Se puede ver que los aparatos de más bajo factor de potencia son, precisamente, aquellos que dependen para su funcionamiento del uso de bobinados para el establecimiento de campos magnéticos.

Para el cálculo del factor de potencia, primero se determinan las potencias activa y reactiva de cada receptor.

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$Q = S \times \sin \varphi$$

**Se suman todas las potencias activas por un lado y las reactivas por otro.**

**Dividiendo,  $\Sigma Q_i / \Sigma P_i$ , el resultado es  $\tan \varphi$ . De la tangente se deduce el ángulo  $\varphi$ , cuyo coseno es el factor de potencia.**

En el caso de que se dispongan de datos sobre el consumo de energía durante un periodo de tiempo significativo, como pueden ser las facturas eléctricas; éstas se utilizarán para calcular el factor de potencia.

**Después de realizar el cálculo del factor de potencia se calculará lo que se paga por el consumo de dicha energía reactiva.**

Por ejemplo para la tarifa 3.0 del año 2015 (para potencias mayores de 15 kW), el recargo sería el siguiente:

Para un consumo de **activa** de 30,807 kVAh.

Para un consumo de **reactiva** de 6,228 kVAh.

Y con un  $\cos \varphi = 0,915$ .

**Si,  $0,8 \leq \cos \varphi < 0,95 \rightarrow$  el precio en euros/kVAh es de 0,041554.**

Si,  $\cos \varphi < 0,8 \rightarrow$  el precio en euros/kVAh es de 0,062332.

Solamente se facturará la reactiva que **sobrepase el 33% de la activa** y solamente en los periodos 1 y 2 (hay discriminación horaria de tres periodos: punta, llano y valle).

$$\text{Penalización} = 0,041554 \times (75 - (170 \times 0,33)) = 0,041554 \times 18,9 = 0,79 \text{ euros.}$$

En una instalación en funcionamiento, los valores de potencia consumida por los receptores no es constante sin que varían en función de las cargas que se le apliquen (esto es cierto sobretodo para motores). Por lo tanto en un determinado momento se tiene un factor de potencia y al cabo de un tiempo se tiene otro mientras que la potencia reactiva que puede compensar un condensador es fija. Lo anterior va a producir fluctuaciones en el factor de potencia más o menos grandes que pueden afectar a la economía de costos de la empresa.

Para soluciones el problema anterior en vez de utilizar condensadores únicos **se utilizan baterías de condensadores. Las baterías de condensadores consisten en varios condensadores conectados en paralelo que se van acoplando al circuito mediante contactores según vaya variando la energía reactiva que consume dicho circuito.**

Imaginemos que en un momento determinado, los motores de una instalación están a la mitad de su carga nominal; se necesitan 5 kVA de potencia reactiva; si se tiene una batería de condensadores con escalones de potencia de 1 kVA haremos que entren los condensadores necesarios por medio de contactores que nos den la potencia mas cercana a esos 5 kVA. Si en otro momento determinado la potencia reactiva que tiene que suministrar la batería es de 1 kVA por ejemplo, entraran otros condensadores.

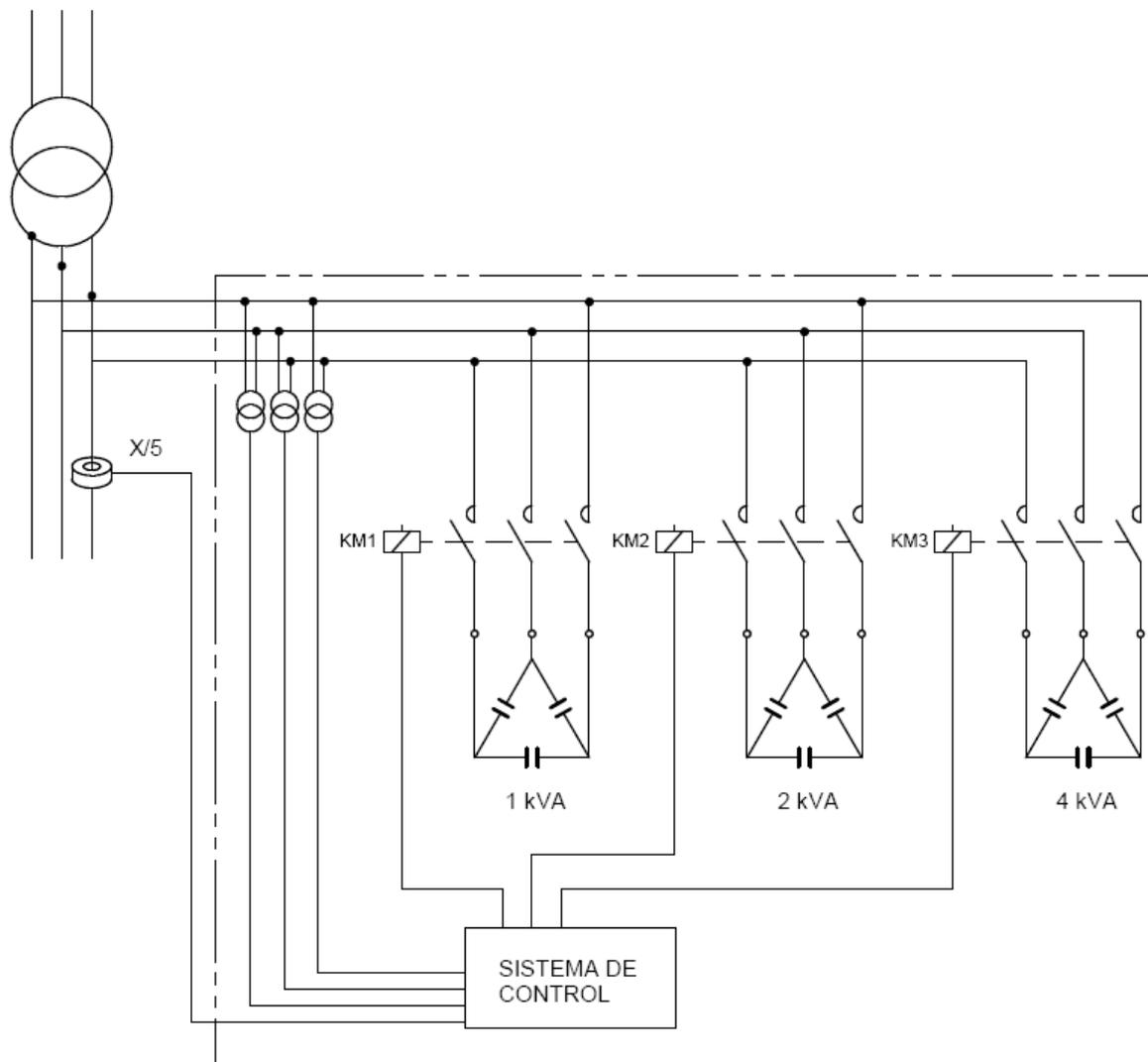
Para saber cuando tienen que entrar los contactores, el sistema tiene generalmente un transformador de intensidad que mide la corriente que esta circulando por la línea; si esa corriente se “desvía” de un valor prefijado mediante una consigna, un microprocesador calcula que contactores tienen que entrar enviando las ordenes de salida pertinentes a dichos contactores.

Un detalle importante es que según la ITC-BT-43, Apdo: 2.7 del REBT, **en ningún momento la energía absorbida por la red podrá ser capacitiva.** Es decir, el factor de potencia de la red no podrá ser capacitivo. Si esto fuese así se podrían ocasionar problemas de sobretensiones en las líneas de distribución.

## Compensación de tipo automático.

Se recomienda utilizar este tipo de baterías cuando la potencia de los condensadores a instalar en kVAr sea superior al 15% de la potencia nominal del centro de transformación en kVA. El respetar esta regla permite evitar posibles elevaciones de tensión en caso de red en vacío o con muy débil carga.

También se recomienda cuando la optimización de la red es indispensable, lo que implica un factor de potencia controlado y corregido permanentemente cualesquiera que sean las variaciones de carga (kW y kVA) o el momento del día.



NOTA: No se colocan los elementos de protección por claridad de dibujo.

El transformador de intensidad está midiendo continuamente la intensidad que circula por la red. La tensión de red también se envía al microprocesador, por lo tanto éste sabe en cualquier momento que energía reactiva se está consumiendo. Si varía ésta con respecto a unos parámetros determinados el sistema hace entrar o desconecta escalones de condensadores según convenga.

Con la combinación de los contactores anteriores, ¿de cuánta potencia se puede conseguir que sean los distintos escalones?, es decir, ¿cuánto tiene que variar la potencia reactiva para que entre un escalón?

Hay que hacer una distinción entre la regulación física y la eléctrica. La regulación física de una batería automática indica la composición y el número de los conjuntos condensador – contactor que la forman. Normalmente se suele expresar como relación de la potencia del primer escalón con el resto de escalones. En nuestro caso sería una batería de 70 kVA con la siguiente regulación física: 1, 2, 4.

La regulación eléctrica sería la combinación de los distintos elementos físicos anteriores para optimizar los escalones de regulación. En el caso anterior se podrían formar regulaciones eléctricas de 10 kVAr.

Por último, se podría hacer una compensación mixta con condensadores fijos que compensan hasta un determinado valor y el resto compensado mediante una batería de condensadores automática.

Calcular la batería de condensadores para el motor de la figura.

Se trata de un motor que mueve una cinta transportadora que transporta material de forma variable.

La placa del motor nos da los siguientes valores:

| ABB Motors                 |                  |                  |
|----------------------------|------------------|------------------|
| N AC 616 010-S             |                  | <b>Motor 3</b> ~ |
| 50 Hz                      | Type MBT 160 L-4 |                  |
| 30 kW                      |                  |                  |
| 2945 r/m                   | CI F             |                  |
| <b>692 V</b>               | <b>31 A</b>      |                  |
| <b>400 V</b>               | <b>53 A</b>      |                  |
| Cos φ 0,84                 | IP 55            | IEC 34-1         |
| Calent./Temp. rise Class B |                  |                  |

La potencia eléctrica que consume el motor para la conexión triángulo será de:

$$P_{\text{eléctrica}} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{\text{eléctrica}} = 1,73 \cdot 400 \cdot 53 \cdot 0,84$$

$$P_{\text{eléctrica}} = 30807 \text{ W}$$

Con una **pinza watimétrica** medimos la potencia y la intensidad que consume en vacío.

$$P = 1176,4 \text{ W.}$$

$$I = 10 \text{ A.}$$

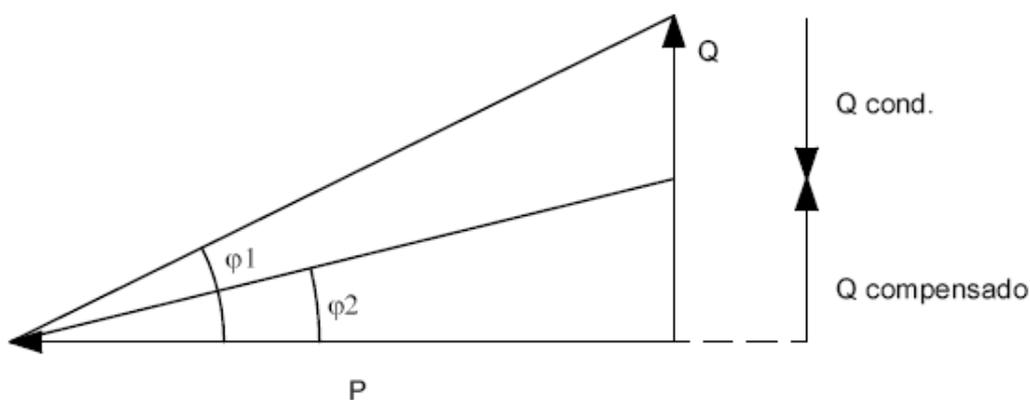
Por lo tanto el  $\cos \varphi = 0,17$

Calculamos **la potencia reactiva de la batería** para que no se produzcan sobreexcitaciones.

$$Q_c = 0,9 \cdot 10 \cdot 400 \cdot \sqrt{3} \quad \text{El } \sin 90 = 1 \text{ y no se pone en la fórmula.}$$

$$Q_c = 6228 \text{ VA r}$$

Vamos a ver hasta que factor de potencia nos compensa la potencia reactiva anterior.



$$Q - Q \text{ cond.} = Q \text{ compensado} \quad \rightarrow \quad Q - Q \text{ compensado} = Q \text{ cond.}$$

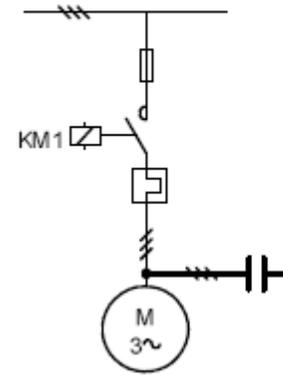
$$\frac{Q}{P} = \text{tg } \varphi_1$$

$$\frac{Q \text{ compensado}}{P} = \text{tg } \varphi_2$$

$$P \cdot \text{tg } \varphi_1 - Q \text{ cond.} = P \cdot \text{tg } \varphi_2$$

$$Q \text{ cond.} = P \cdot \text{tg } \varphi_1 - P \cdot \text{tg } \varphi_2 \quad \rightarrow \quad Q \text{ cond.} = P (\text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2)$$

En este caso utilizaremos condensadores fijos aplicados en bornes del motor (cuando arranca el motor entran los condensadores con el mismo contactor de arranque).



Recordemos que  $Q_c = 6228 \text{ Var}$ .

Veremos hasta que punto nos compensa en vacío.

$$6228 = 1176,4 \cdot (5,8 - \text{tg } \varphi_2) \rightarrow \text{tg } \varphi_2 = 5,8 - 6228/1176,4 = 0,51 \rightarrow \varphi_2 = 27^\circ \rightarrow \cos \varphi_2 = 0,89$$

En carga la potencia consumida y el  $\cos \varphi$  son los siguientes:  $P = 30807 \text{ W}$ .

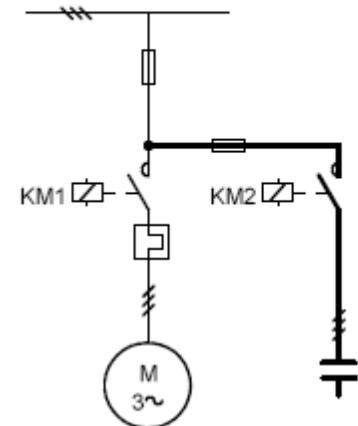
$$\cos \varphi_1 = 0,84 \rightarrow \varphi_1 = 32,8^\circ \rightarrow \text{tg } \varphi_1 = 0,64$$

Potencia eléctrica del motor en carga

$$6228 = 30807 \cdot (0,64 - \text{tg } \varphi_2) \rightarrow \text{tg } \varphi_2 = 0,64 - 6228/30807 = 0,43 \rightarrow \varphi_2 = 23,2^\circ \rightarrow \cos \varphi_2 = 0,91$$

Para conseguir una compensación mas "ajustada" utilizaremos **compensación con contactores** (en este caso los condensadores llevan sus propios contactores de conexión).

Para ello compensaremos en vacío hasta  $\cos \varphi = 1$  (en este caso no hay problemas de autoexcitación).



$$Q_{\text{cond.}} = 1176,4 \cdot (5,8 - 0) = 6823 \text{ VA r}$$

En carga la potencia consumida y el  $\cos \varphi$  son los siguientes:  $P = 30807 \text{ W}$ .

$$\cos \varphi_1 = 0,84 \rightarrow \varphi_1 = 32,8^\circ \rightarrow \text{tg } \varphi_1 = 0,64$$

$$6823 = 30807 \cdot (0,64 - \text{tg } \varphi_2) \rightarrow \text{tg } \varphi_2 = 0,64 - 6823/30807 = 0,41 \rightarrow \varphi_2 = 22,3^\circ \rightarrow \cos \varphi_2 = 0,92$$

No olvidarse de desconectar los condensadores en caso de desconectar el motor y que los condensadores dispongan de resistencias de descarga.

No olvidarse de calibrar nuevamente las protecciones del motor si éstas están aguas arriba de los condensadores.

Hay que tener en cuenta que **en este caso la aplicación es variable**, es decir, la cinta puede estar funcionando en vacío durante un periodo de tiempo, en cuyo caso el  $\cos \varphi$  de la instalación será 1. Por lo tanto el  $\cos \varphi$  variará desde 1 hasta 0,92, dependiendo de si la cinta está trabajando en vacío o a plena carga.

Los valores anteriores hay que corregirlos a valores comerciales, de forma que dado un valor calculado, se elegirá el valor comercial inmediatamente **inferior** (el RBT indica que el  $\cos \varphi$  nunca puede ser capacitivo (se puede producir el efecto Ferranti)).

Por lo tanto el  $\cos \varphi$  sera respectivamente menor que 1 a plena carga y menor que 0,92 en vacío.

## Condensadores. Dimensionado de la aparamenta.

Independientemente de las elevadas puntas de conexión que pueden presentarse accidentalmente, los condensadores pueden sufrir sobrecargas por sobretensión o armónicos producidos por fenómenos de resonancia en la instalación tal como se indica seguidamente.

En funcionamiento permanente: 1,35 veces la potencia dada a la tensión y frecuencia nominales.

Durante 6 horas al día: 1,45 veces la potencia dada a la tensión y frecuencia nominales.

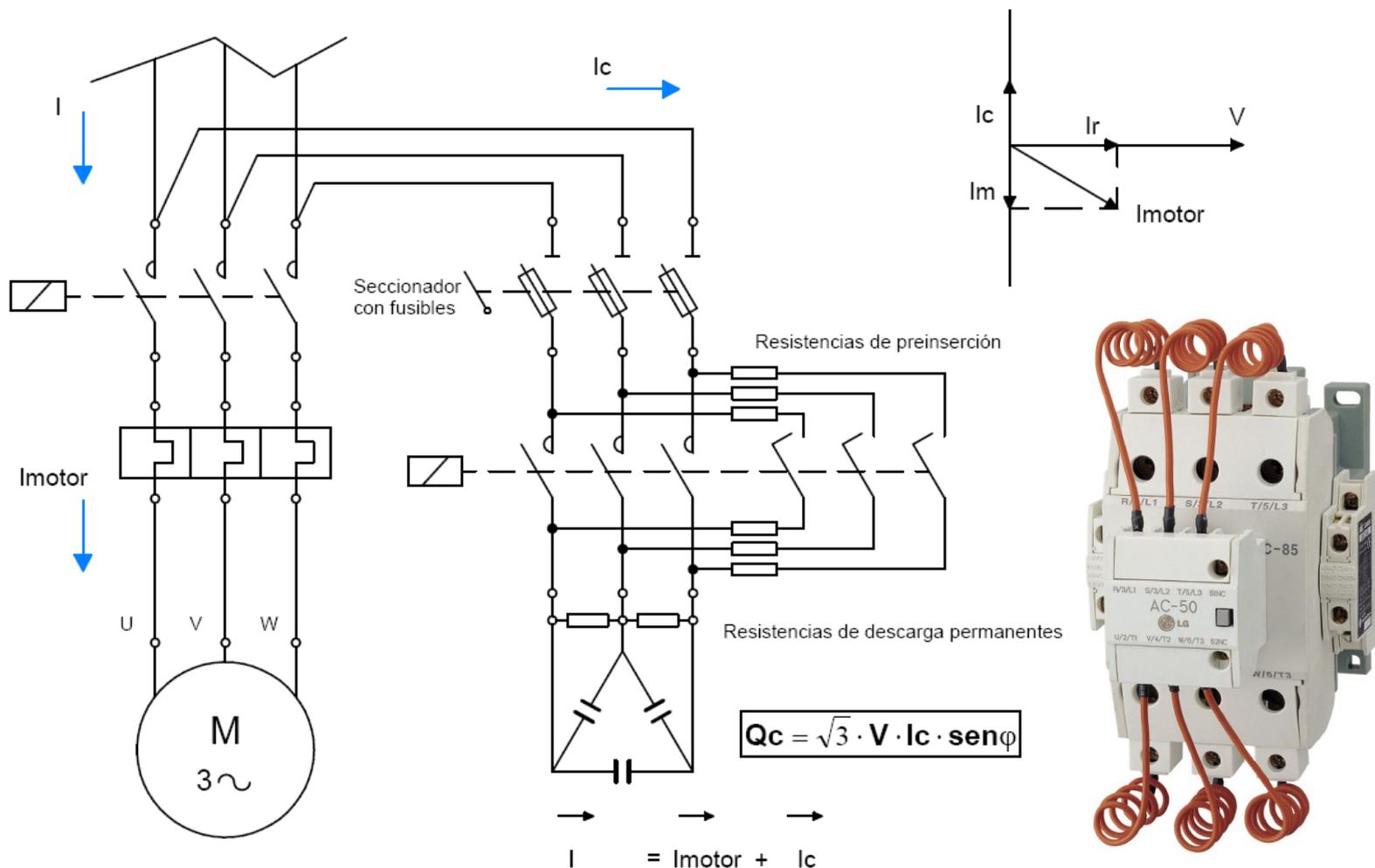
En funcionamiento permanente: 1,5 – 1,8 veces su corriente nominal.

En servicio permanente la tensión no puede ser superior a 1,1  $U_n$ .

Durante 6 horas al día la tensión no puede ser superior a 1,15  $U_n$ .

En la aparición de armónicos, la tensión de cresta no puede ser superior a 1,8 veces la tensión nominal.

En base a lo anterior, los aparatos de conexión, cables de conexión y elementos de protección deben dimensionarse a 1,5...1,8 veces la  $I_n$  del condensador. **IMPORTANTE: DE TODAS FORMAS DEBEMOS ADAPTARNOS A LAS TABLAS DE LOS FABRICANTES DADAS EN SUS RESPECTIVOS CATALOGOS.**

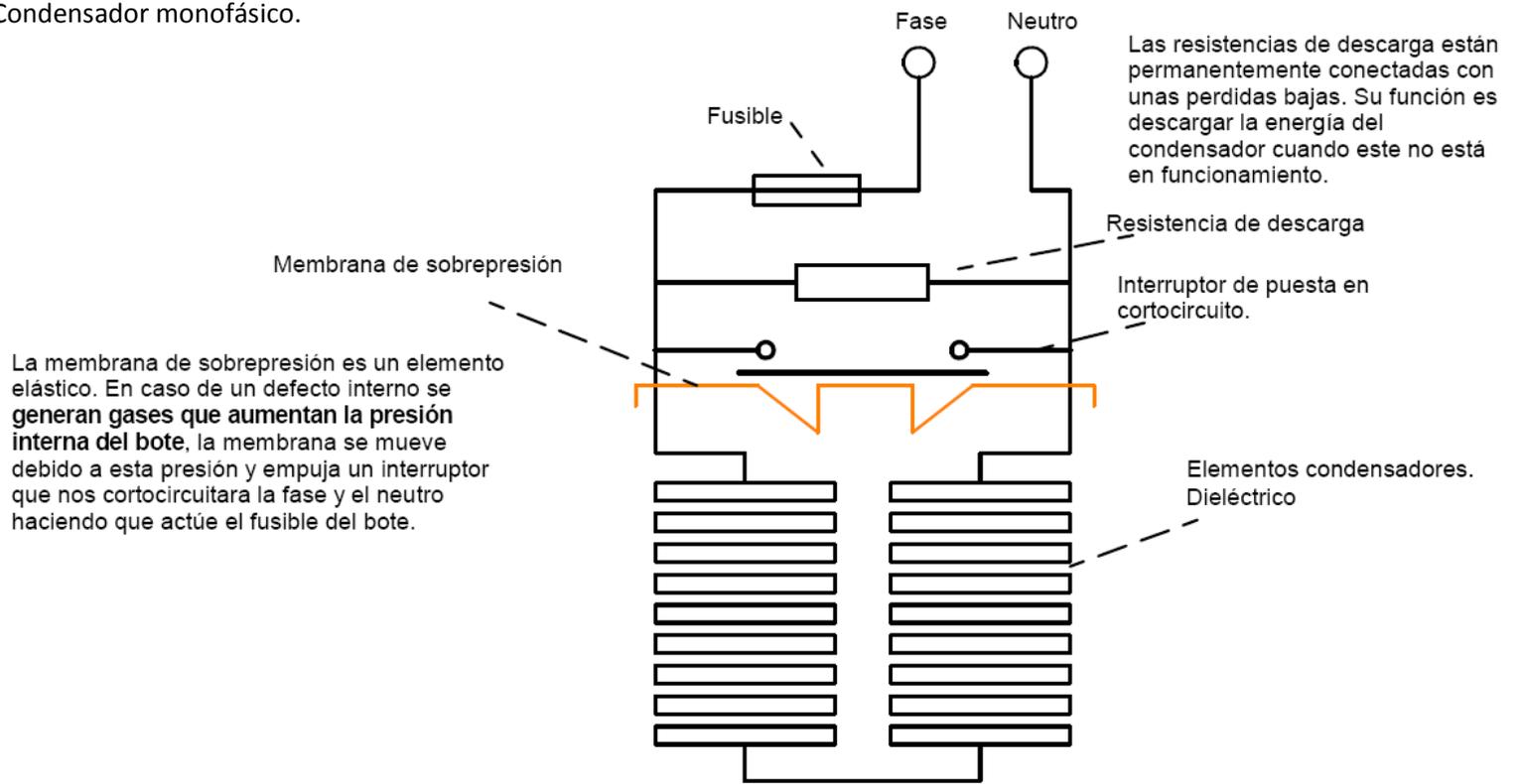


Se utilizarán fusibles individuales para la protección contra cortocircuitos. El calibre de los fusibles no debe ser inferior al 165 % de la intensidad nominal, ni superior al 235 % de la misma.

La mayor dificultad que tienen que soportar los contactores para baterías de condensadores en paralelo, es la punta de intensidad de conexión de los mismos, que puede ser del orden de 150  $I_n$ . Para minimizar este problema se utilizan contactores con una resistencia de preinserción, que en el momento de la conexión se ponen en serie con los condensadores dejando de actuar un momento después de dicha conexión. Hay que tener en cuenta que las puntas de intensidad son de una duración de milisegundos. Tecnología de construcción de condensadores.

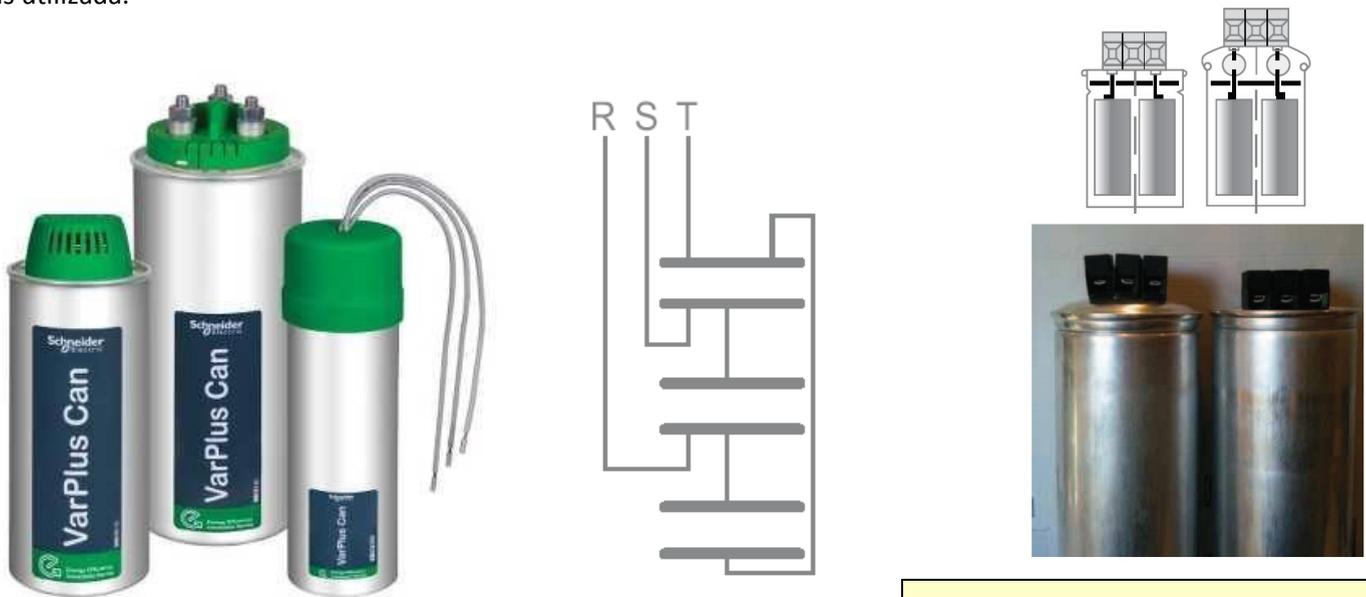


### Condensador monofásico.



### Condensadores trifásicos.

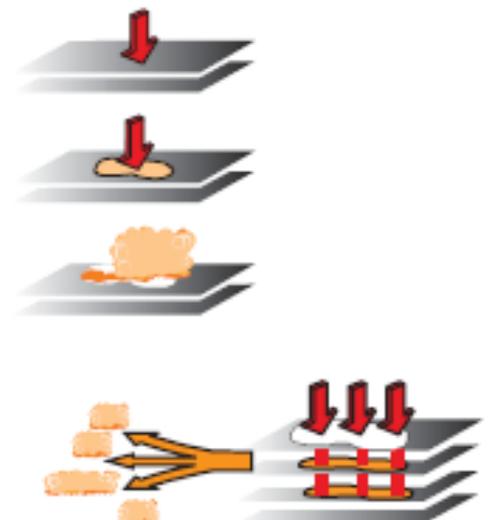
Estos condensadores están diseñados para ser conectados a una red eléctrica trifásica R-S-T y la forma de conectar los elementos capacitivos en su interior tiene dos posibilidades, en estrella o en triángulo; mostrándose en la figura la conexión triángulo que es la mas utilizada.



Otro sistema de desconexión en caso de defecto interno.

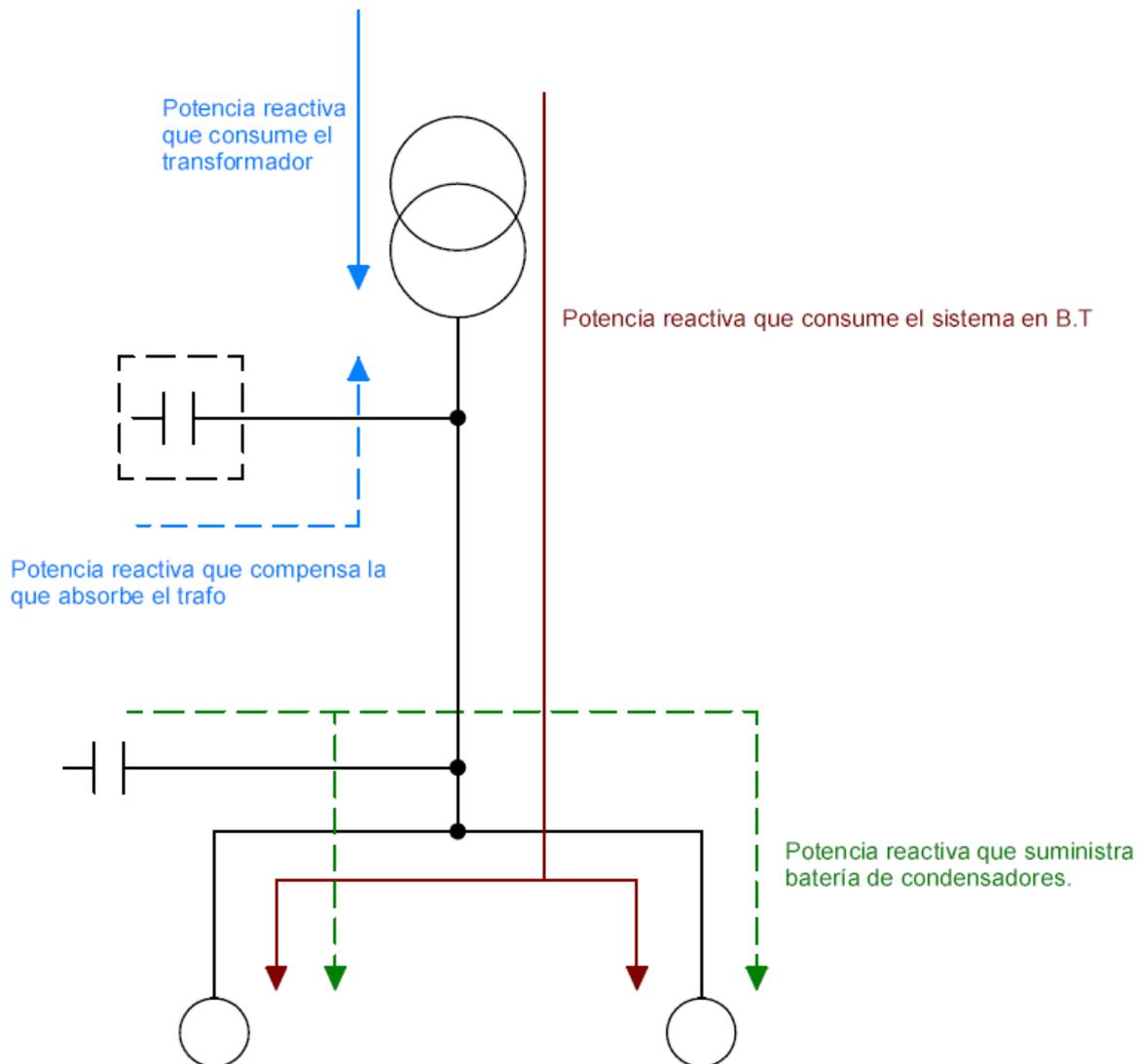
Una película de plástico aislante de polipropileno esta recubierta con una capa metálica de zinc constituyendo un electrodo. Esta capa metálica confiere a la película la propiedad de autocicatrización.

En caso de perforación del aislante, causada por un defecto de la película, la energía desprendida en el punto de defecto hace evaporarse el depósito metálico alrededor del defecto, lo que reconstruye el aislamiento.



## Compensación de transformadores. Compensación fija.

En el caso de que se deseen compensar también las pérdidas inductivas del transformador en B.T. (por ejemplo si se tiene una contratación de potencia en M.T.) la manera de realizarlo es incorporando un equipo de compensación fija en los bornes de baja del transformador, de tal manera que la instalación quede sobrecompensada en la parte de B.T. Dicha sobrecompensación actúa en el lado de alta aproximando la corriente a un factor de potencia lo mas próximo a 1 (es decir, a una corriente que circularía desde el punto de vista de la red de alta tensión por una carga aproximadamente resistiva).



En la figura existe un consumo de potencia reactiva por parte del transformador que no está suministrada por la batería de condensadores.

La batería de condensadores no "ve" dicho consumo, ya que el TI que informa al regulador sobre el  $\cos \varphi$  de la instalación está conectado en la parte de B.T. Por lo tanto es necesario incorporar un condensador aguas arriba del punto de conexión de TI que incorpore los kVAr suplementarios.

## El regulador para el factor de potencia.

Los datos que se deben programar en un regulador al realizar la puesta en marcha son los siguientes:

- El  $\cos \varphi$  deseado en la instalación.
- La relación C/K.

El regulador es el componente que decide la entrada o salida de los distintos escalones de potencia en función de 3 parámetros.

- El  $\cos \varphi$  que se desea en la instalación.
- El  $\cos \varphi$  que existe en cada momento en la instalación.
- La intensidad del primer escalón (que es el que marca la regulación mínima de la batería).

La entrada de intensidad al regulador se efectúa a través de un TI, generalmente con una relación X/5.

Para que el regulador pueda tomar la decisión de conectar o desconectar escalones debe saber cual va a ser la intensidad reactiva que va a introducir en la instalación. Esta intensidad debe estar referida al secundario del TI ya que es el valor que el regulador "lee".



La forma de programar este valor es lo que se conoce como C/K y su formula es la siguiente.

$$C/K = (Q_f / \sqrt{3} \times U) / R_{TI}$$

Donde:

$Q_f$  = potencia reactiva del primer escalón (Var).

U = tensión entre fases.

$R_{TI}$  = relación del trafo de intensidad (X/5).

Ejemplo:

Batería de 70 kVAr, formada por los siguientes escalones de potencias: 10 + 20 + 40. Se conecta en una instalación donde el disyuntor general de protección es de 630 A. El TI que se deberá instalar será de 700 / 5 y el cálculo del C/K será:

$$C/K = 10 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 400 \times (700/5)) = 0,10.$$

La importancia del ajuste del C/K.

Para comprender la importancia del ajuste C/K hay que pensar que cada batería tiene un escalonamiento mínimo definido (determinado por la potencia del primer escalón).

Por este motivo la batería no se podrá ajustar al  $\cos \varphi$  deseado a no ser que la demanda de la instalación coincida exactamente con dicho valor o un múltiplo del mismo.

Ejemplo:

Batería de 70 kVAr formada por los siguientes escalones: 10 + 20 + 40.

El  $\cos \varphi$  objetivo programado en el regulador es igual a 1.

Los datos de la instalación en un determinado momento son:

P = 154 kW.

$\cos \varphi = 0,97$ .

Con lo que la Q reactiva necesaria para alcanzar el  $\cos \varphi$  deseado sería:

$$Q = P \times (\operatorname{tg} \varphi_{\text{inicial}} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{deseado}}) = 154 \times (0,25 - 0) = 38,5 \text{ kVAr.}$$

Como el escalonamiento eléctrico de esta batería es de 7 x 10 kVAr, la batería estaría constantemente fluctuando entre 30 y 40 kVAr.

Para evitar esta actuación inestable existe el ajuste C/K.

Interpretación del ajuste C/K.

El eje X representa la intensidad activa de la instalación; el eje Y, la intensidad reactiva (inductiva en el semiplano positivo y capacitiva en el negativo).

Se puede representar en ese grafico cualquier situación del  $\cos \varphi$  de la instalación como las coordenadas de un punto (X,Y) atendiendo a las componentes de intensidad activa y reactiva.

Se ha representado la línea cuya pendiente es la  $\operatorname{tg} \varphi$ , siendo  $\varphi$  el ángulo para el  $\cos \varphi$  deseado.

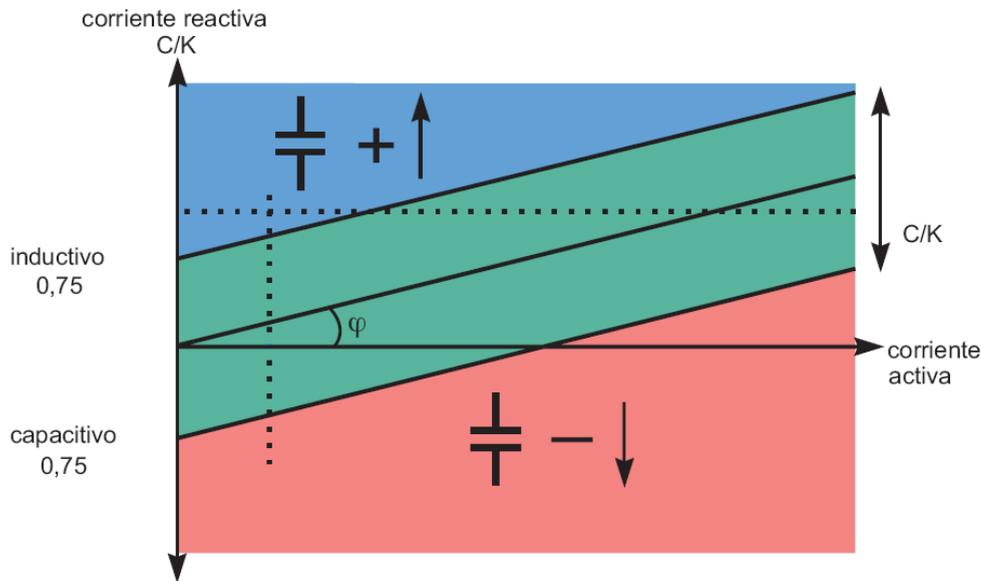
**Como se ha visto anteriormente la batería no se puede ajustar exactamente a la demanda de reactiva que existe en cada momento en la instalación. Por eso se crea una banda de funcionamiento estable del regulador en la cual a pesar de que el  $\cos \varphi$  no sea exactamente el deseado no se van a conectar ni desconectar mas escalones.**

Esa banda es el C/K. Por encima de la banda C/K el regulador va a conectar escalones y por debajo los desconecta.

Un ajuste demasiado bajo del C/K implicaría un sobretrabajo inútil de los contactores. Un C/K demasiado alto supondría una banda estable excesivamente ancha, y por lo tanto no se alcanzaría el  $\cos \varphi$  deseado.

Los reguladores proporcionan la posibilidad de ajuste automático del C/K bajo cualquier condición de carga de la instalación.

El ajuste manual permite introducir valores de C/K desde 0,01 hasta 1,99 pudiendo visualizar en pantalla el valor ajustado.



## Bibliografía.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Cuadernos Técnicos de Schneider.

Fabricantes de microautómatas y autómatas.

“Zen” de **Omron**.

“Logo” de **Siemens**.

“Zelio” de **Schneider**.

“Easy” de **Moeller**.

“Simatic S7-200” de Siemens. Sustituido por el Simatic S7-1200.

Fabricantes de equipos de seguridad para maquinaria.

Pilz.

Allen-Bradley.

Schmersal.

Schneider.

Omron.

Fabricantes de condensadores y accesorios.

Schneider.

Legrand.

Circuitor.