5. Circuitos neumáticos

Un circuito neumático es un conjunto de actuadores, válvulas y conductos que combinados de una forma determinada son capaces de cumplir una misión específica.

5.1 Simbología

En el momento de realizar un circuito neumático, de interpretarlo, de montarlo o de transmitirlo a terceras personas, es absolutamente necesario emplear una simbología que represente cada uno de los elementos de que consta: Tuberías, actuadores, válvulas, etc.

Para ello existen las normas ISO 1219-1:1991 y 1219-2:1995, expuestas en parte anteriormente, que establecen el dibujo esquemático de cada elemento. Se trata de una representación funcional, tremendamente explícita, que se aprende sin esfuerzo gracias a su tremenda fuerza representativa. En ningún momento trata de reflejar detalles constructivos sino exclusivamente funcionales, por lo que elementos diferentes pero con la misma misión se representan de idéntica manera. La lista de símbolos casi completa figura como apéndice de este trabajo. En los apartados siguientes se incluyen determinados aspectos de dichas normas que no han sido expuestos con anterioridad.

5.2 Métodos de representación

Además de la simbología empleada para representar cada elemento es necesario establecer una serie de convenciones para esquematizar los circuitos neumáticos. Dichas convenciones son necesarias bien en el momento de diseñar un circuito, para explicarlos y transmitirlos a terceros, para proceder a su montaje o bien durante su mantenimiento.

5.2.1 Esquema funcional

El esquema funcional es la representación gráfica que define el funcionamiento del equipo neumático así como las conexiones entre los diferentes elementos. Dichos elementos no se representan en su posición real sino que se sitúan de la forma más clara posible. Siempre que sea posible, el esquema se divide en escalones, situando en cada uno de ellos y a la misma altura los elementos neumáticos que tienen similares misiones.

ESTRUCTURACIÓN DE UN ESQUEMA FUNCIONAL

Normalmente se dibujan los símbolos que representan cada elemento en horizontal y siempre en la posición que tienen cuando el circuito está en la posición inicial. Los cilindros pueden situarse con su vástago en posición extrema anterior (salido) o posterior (entrado), y las válvulas en su caso, en posición estable o inestable.

En el primer escalón se representan los elementos de trabajo o actuadores, siendo preferible que el vástago se dibuje a la derecha del émbolo.

En un segundo escalón se sitúan las válvulas de gobierno o mando, que sirven para que el aire comprimido entre o salga en una u otra cara del émbolo.

Entre ambos escalones se sitúa otro intermedio donde se ubican las válvulas que de una u otra forma varían la velocidad de desplazamiento, crean tiempos de retardo o acciones similares, como pueden ser las válvulas estranguladoras o antirretorno, válvulas de escape rápido, temporizadores, etc.

En un tercer escalón se representan las válvulas captadoras de información, o que producen señales con el fin de actuar sobre las de mando. Son llamadas válvulas de información o de señal.

Entre el segundo y tercer escalón se dibujan, si las hubiese, las válvulas lógicas, es decir las selectoras de circuito, de simultaneidad y otras auxiliares.

En un cuarto escalón se representan otras válvulas auxiliares como aquellas que realizan el papel de interruptores generales, etc. En un último escalón se dibuja el equipo de mantenimiento y la alimentación, que muchas veces, por obvios, no se representan.

La alimentación se esquematiza por un pequeño triángulo equilátero con fondo blanco, señalando la dirección del flujo. Si el fluido fuese un líquido, normalmente aceite, el triángulo tendría fondo negro. Normalmente en la realidad hay un solo punto de alimentación y luego se reparte a los puntos de consumo. Sin embargo, en los esquemas funcionales se suelen representar varios puntos de alimentación con la finalidad de eliminar líneas que pudieran cruzarse y dificultar el seguimiento del esquema.

NOMENCLATURA DE UN ESQUEMA FUNCIONAL

Con el fin de poder referenciar cada elemento y que tal asignación tenga una mayor utilidad se han de seguir las siguientes instrucciones en la nomenclatura.

Los actuadores se referencian mediante números correlativos seguidos de una A mayúscula (1A, 2A, etc.), ordenados de izquierda a derecha en orden cronológico de actuación. Si trabajan dos o más actuadores en paralelo en el mismo circuito se representan con el mismo número seguido de la A mayúscula y de números correlativos (1A1, 1A2, etc). El vástago o el émbolo en su desplazamiento pueden actuar sobre determinadas válvulas de señal. Para representar tal extremo se dispone una pequeña raya perpendicular a la dirección del vástago y se indicará con su nomenclatura cual es la válvula afectada. Si el vástago acciona la válvula en un único sentido, mediante un rodillo escamoteable, se debe añadir una flechita perpendicular a la raya mencionada que señale dicho sentido.

Las válvulas de gobierno principales y secundarias de cada cilindro respectivos se denominan con el número del cilindro sobre el que actúan seguido de una V mayúscula y un número correlativo (1V1, 1V2, etc.).

Las válvulas de información o de señal llevan el número del actuador que las acciona, si son accionadas manualmente llevarán el mismo número que la válvula de gobierno sobre la que actúan. En ambos casos el número estará seguido de una S mayúscula y de otro número correlativo, (1S1, 1S2, 1S3, etc.).

Todo elemento que no sea ni actuador, ni válvula, ni introductor de señales, debe llevar la letra Z, precedida del número correspondiente al circuito y seguida de un número correlativo (1Z1, 1Z2, etc.). En los casos en que estos elementos se empleen no solo para un actuador sino para todos los de una instalación o máquina llevarán por delante el número 0. Si en un mismo esquema se presentan varios circuitos la nomenclatura de todos los elementos irá precedida de un número correlativo, indicativo del circuito, y de un guión (1-1A, 2-1V2, etc.).

Después de haber señalado todo lo anterior, es preciso advertir que el esquema funcional de un circuito complejo no siempre se puede enumerar según las pautas descritas en este apartado.

EJEMPLO DE UN ESQUEMA FUNCIONAL

A título de ejemplo se presenta en la figura 5-1 un circuito neumático funcional con la nomenclatura prescrita por las mencionadas normas ISO.

Si se observa dicho esquema desde la parte superior a la inferior, se tiene en primer lugar el elemento de trabajo o actuador, que se denomina 1A. En nuestro caso el actuador es un cilindro de doble efecto con doble amortiguación regulable en ambos sentidos, situado en reposo en su posición posterior. También se observan dos marcas o pequeñas rayas verticales con las denominaciones 1S1 y 1S2. Esto indica que cuando el vástago esté en el principio de carrera saliente accionará el elemento 1S1 y cuando llegue al final de carrera el 1S2.

Posteriormente, en el segundo nivel se encuentran las válvulas que se encargan de modificar la velocidad de los cilindros. Por ser válvulas, llevan la letra V precedida del 1 al pertenecer al actuador 1, el siguiente número identifica a las válvulas correlativamente desde el 1 hasta n.

En el nivel siguiente se encuentra la válvula de gobierno del actuador. En este caso es una válvula distribuidora 5/2 que lleva la denominación 1V1. Seguidamente se representan los elementos de control, en nuestro caso una válvula de simultaneidad “Y” (1V2).

En el penúltimo nivel se disponen todos los elementos que producen una entrada de señal, que aunque sean válvulas distribuidoras se designan con una S porque son elementos que producen señales de mando.

Finalmente en el piso inferior se disponen los elementos de tratamiento del aire comprimido. Al no ser ni actuador, ni válvula, ni introductor de señales, lleva la letra Z. Como normalmente estos elementos se emplean no solo para un actuador sino para todos los de una instalación o máquina llevan por delante el número 0.

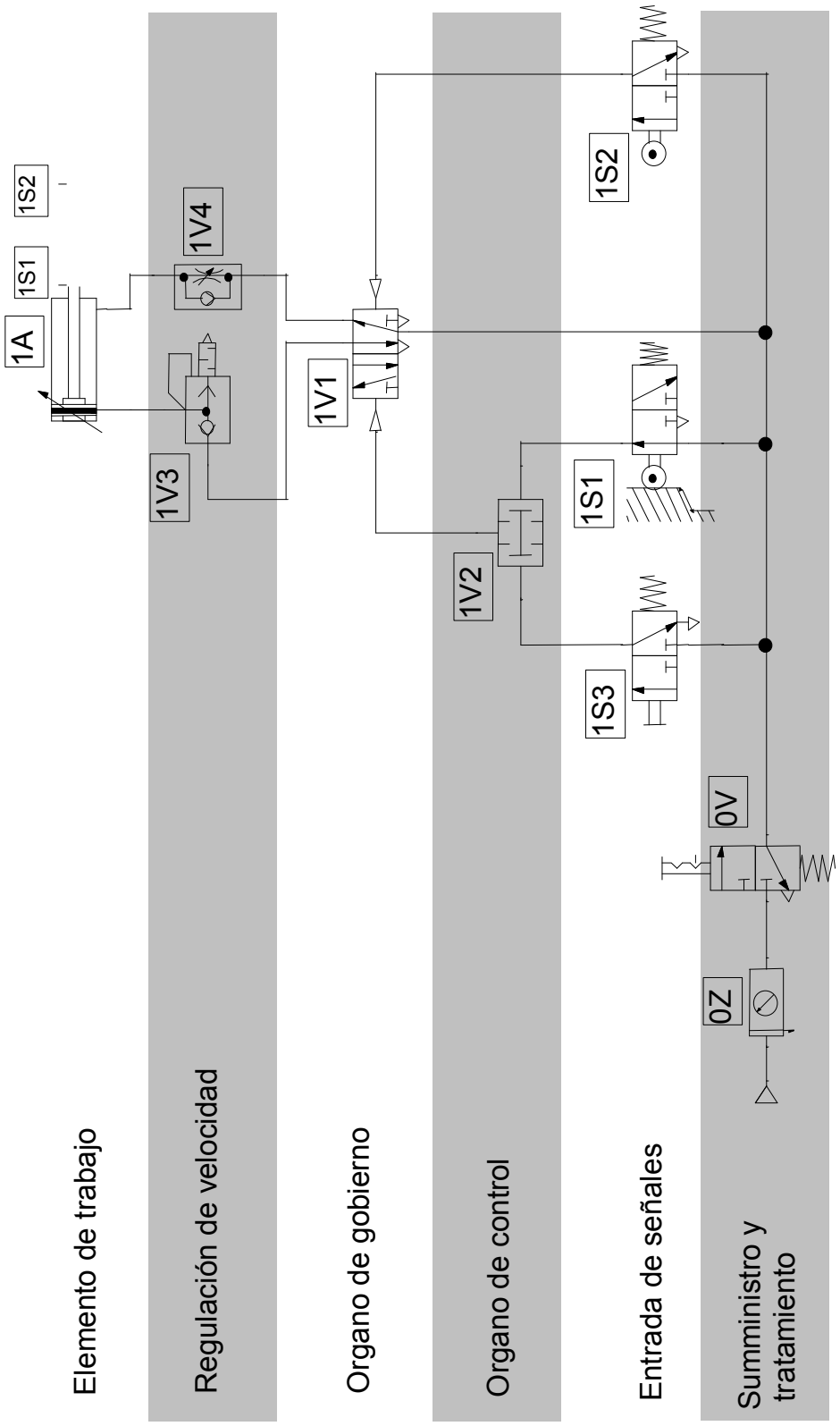


Figura 5-1. Disposición de elementos en un esquema funcional.

5.2.2 Diagrama espacio - fase

El funcionamiento de un circuito neumático se representa con bastante acierto mediante el diagrama espacio – fase, donde se resalta gráficamente cada evento del funcionamiento del circuito y la posición de cada elemento en cada situación. Para esta representación se utiliza una especie de papel pautado (figura 5-2).

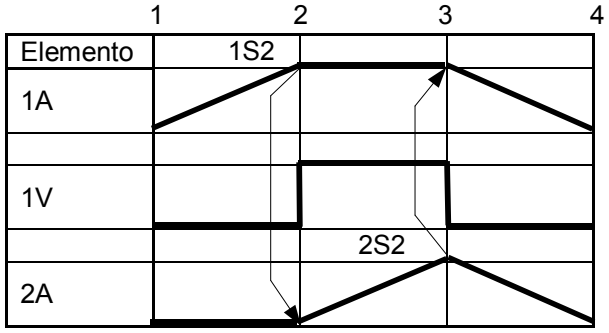


Figura 5-2.- Ejemplo de diagrama espacio - fase

Las diferentes posiciones de cada elemento se representa en una franja horizontal con dos o más líneas horizontales, las cuales indican las distintas posibilidades posicionales de aquél, que en un buen porcentaje de los casos es tan sólo de dos. En dicha franja se trazan líneas verticales a distancias iguales con las que se resaltan los sucesos o discontinuidades de funcionamiento de cada elemento, denominadas fases.

La línea inferior índica que el elemento se encuentra en posición estable y la superior en situación inestable. Si el elemento es biestable la línea inferior indica la posición cuando el circuito se encuentra en reposo, es decir la de dibujo en el esquema funcional.

Cada franja horizontal corresponde a un elemento del circuito y deben estar ordenados de arriba a abajo cronológicamente en su actuación en el circuito.

Evidentemente los sucesos de los diferentes elementos que se verifican en la misma fase o momento han de figurar en la misma línea vertical.

El cambio de posición de las válvulas se considera instantáneo por lo que se representa mediante una línea vertical; si no sufre variación se traza una línea horizontal.

En el caso de los cilindros, la posición posterior se representa en la línea inferior horizontal de su franja correspondiente y la anterior en la superior. La operación de salida se representará mediante una recta ascendente y la de retroceso con una descendente, lo cual significa que los extremos del recorrido se consideran dos fases diferentes a efectos de esta representación.

En determinados casos puede ocurrir que en la mitad de carrera de un vástago se produzca algún suceso, lo cual debe representarse en el diagrama que estudiamos.

En el diagrama espacio - fase no se representa la mayor o menor velocidad de un cilindro por la mayor o menor pendiente de las rectas que representan el desplazamiento del vástago, incluso en algunas ocasiones puede resultar a la inversa.

En este mismo diagrama puede representarse mediante líneas auxiliares la secuencia del funcionamiento de los cilindros con las causas y los efectos. Por otra parte pueden indicarse los pilotajes de las válvulas y su eliminación mediante las letras señaladas a continuación, acompañada de la nomenclatura de la válvula correspondiente.

pd 1V1------- pilota lado derecho de la válvula 1V1

pi 1V1 -------- pilota lado izquierdo de la válvula 1V1

epd 1V1 ----- elimina pilotaje derecho de la válvula 1V1

epi 1V1 ----- elimina pilotaje izquierdo de la válvula 1V1

5.2.3 Diagrama espacio - tiempo

Este diagrama es un paso más en la representación cuidadosa del funcionamiento de un circuito neumático, donde todo es idéntico al diagrama ya explicado salvo que el valor de las abscisas es proporcional al tiempo, y, por tanto, la mayor o menor pendiente de las rectas, que indican la velocidad de los vástagos.

5.2.4 Secuencia de actividades

La secuencia de actividades es una relación literaria de todos los sucesos o discontinuidades que se producen en el funcionamiento del circuito neumático, ordenados cronológicamente desde su puesta en marcha hasta su paro, o bien hasta completar un ciclo si su trabajo es ininterrumpido.

En los ejemplos que figuran más adelante se han utilizado las técnicas de representación y de explicación anteriormente enumeradas.

5.3 Proceso del funcionamiento real de un cilindro

En el apartado 3.5 se adelantó que el proceso de funcionamiento de un cilindro es bastante complejo dependiendo de numerosos factores. Aquí se presenta el caso de un cilindro de doble efecto sin vástago gobernado por una válvula distribuidora. Las presiones en ambas cámaras pasan por distintas situaciones en función de la posición de su émbolo. El proceso es diferente según las exigencias externas. En esta ocasión el cilindro está situado vertical y sin carga, a excepción de su émbolo y del carro que arrastra.

En la figura 5-3 se representa el esquema del circuito neumático ideado para realizar el ensayo que aportó los resultados del proceso. Consta además del cilindro con doble amortiguamiento, de una válvula distribuidora 5/2, dos restrictores con antirretorno, dos sensores de presión y un sensor de posición del émbolo.

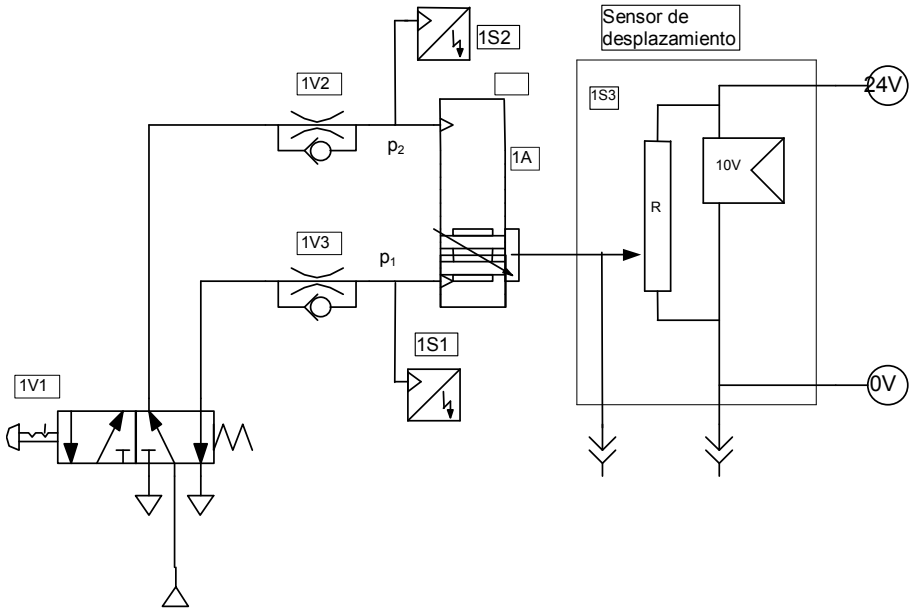


Figura 5-3 Esquema neumático

Las figuras 5-4 y 5-5 representan los resultados obtenidos en el movimiento del émbolo en sus dos sentidos. Se han dibujado el tiempo en abcisas, y en ordenadas las presiones en ambas cámaras y la posición del émbolo.

ASCENSO DEL ÉMBOLO

Se parte del émbolo en la posición inferior y la cámara inferior a la presión atmosférica y la superior a la presión de alimentación; en un determinado instante se invierte la válvula 1V1 para comenzar el proceso, que por razones de adquisición de datos no se refleja en el gráfico como tiempo cero. A partir de este momento se verifica la siguiente secuencia:

- Pasa aire a través de la válvula 1V1.
- Llega aire a la cámara inferior del cilindro.
- Comienza a incrementarse la presión p1 en dicha cámara.
- La cámara superior se relaciona con la atmósfera a través de una conducción, el restrictor con antirretorno 1V2, en posición desfavorable, y la válvula 1V1.
- Comienza a descender la presión en la cámara superior, p2.
- El émbolo sigue en reposo. (AB – figura 5-4).
- p1 alcanza una presión máxima equivalente a la de alimentación, mientras que p2 sigue reduciéndose.
- Cuando se alcanza una diferencia de presiones determinada, capaz de vencer el peso del émbolo y los rozamientos estáticos, empieza a moverse el émbolo (B); en tal momento se verifica:

$$(p_1 - p_2) \cdot A - F_r - m_{móvil} \cdot g = m_{movil} \cdot a$$

- Donde A es la sección del émbolo
- F_r la fuerza del rozamiento
- m_{movil} es la masa de las partes móviles del émbolo, incluido el carro externo.
- En ese momento (B) cae p_1 en parecida magnitud que p_2, manteniéndose la aceleración prácticamente constante (BC), hasta que ésta se anula (C) y el émbolo alcanza una velocidad constante (CD), lo cual se aprecia por la pendiente invariable de la línea recta que señala el desplazamiento del émbolo. En ese lapso de tiempo se verifica:

$$(p_1 - p_2) \cdot A = F_r + m_{móvil} \cdot g$$

- Cuando el émbolo auxiliar de amortiguación llega a su cilindro auxiliar, se requiere un incremento de la presión diferencial para que el aire salga por el restrictor del cilindro, ello lleva consigo un aumento de p1 y una disminución de p2, (D) reduciéndose fuertemente, incluso anulándose en un determinado lapso la velocidad del cilindro (DE). Eso se aprecia observando la horizontalidad de la línea (X, t).
- Por último se alcanza el fin de carrera (F), continuando el descenso de p2 hasta anularse y el incremento de p1 hasta alcanzar el valor de la presión de alimentación.

DESCENSO DEL ÉMBOLO

En el instante de partida (A figura 5-4) $p_1 = p_{alimentación}$; $p_2 = 0$; X=0. Al invertirse la válvula 1V1 sucederá:

- p_2 aumenta y p_1 disminuye sin que el émbolo se mueva (AB).
- Transcurrido un tiempo (AB) el émbolo empieza a desplazarse, cuando se verifica:

$$(p_2 - p_1) \cdot A - F_r + m_{móvil} \cdot g = m_{movil} \cdot a$$

produciéndose una aceleración, hasta el momento que se alcanza la velocidad de régimen (C).

- Durante el lapso CD la velocidad permanece invariable
- Cuando el émbolo alcanza la zona de amortiguación (D) sucede un hecho análogo al ya descrito en el caso de ascenso del émbolo, alcanzándose una velocidad nula (DE).
- Por último, se alcanza el fin de carrera (F), p2 sigue ascendiendo hasta alcanzar la presión de alimentación (G) y p1 desciende hasta anularse (H).

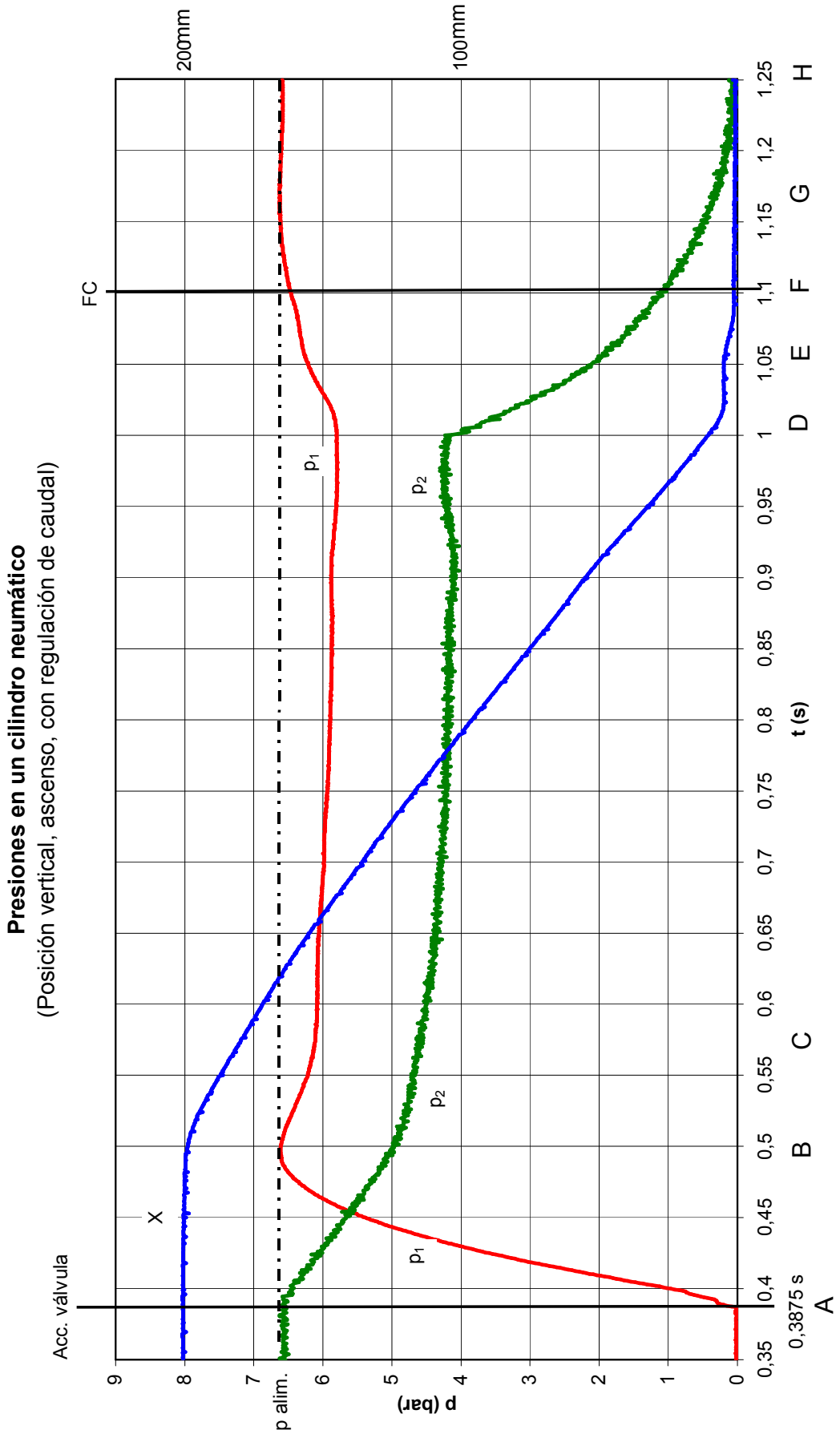


Figura 5-4. Resultados registrados para ascenso del émbolo.

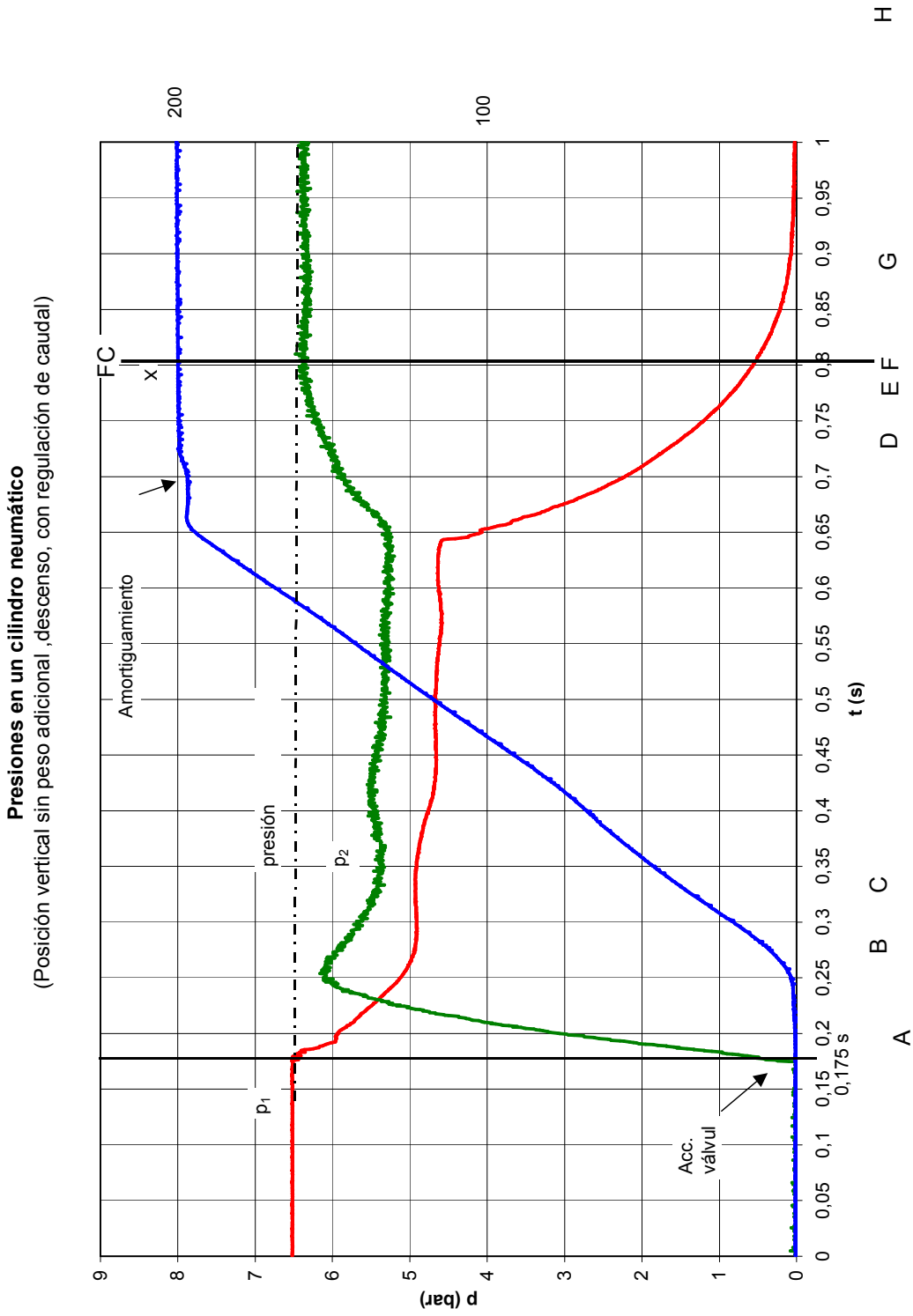


Figura 5-5. Resultados registrados para descenso del émbolo.

5.4 Confección de un circuito

El trazado de un circuito se puede realizar por dos procedimientos, uno intuitivo y el otro metódico. El primero, como su misma palabra lo indica, se resuelve de una manera en que predomina la intuición y la experiencia frente al razonamiento metódico, se puede utilizar en circuitos reducidos o bien por personas con cierto oficio en el tema. Es obvio que aquí propugnamos el segundo método.

En primer lugar, antes de confeccionar cualquier circuito es necesario conocer el proceso que ha de atender y el servicio que debe cumplir, con clara expresión de los esfuerzos que ha de vencer, en qué secuencia, con qué velocidad se han de hacer los desplazamientos, cuantos ciclos se deben realizar por unidad de tiempo etc., en una palabra se han de saber todas las condiciones que ha de cumplir en el proceso.

Si el proceso general es diseñado por un técnico diferente del que resuelve la parte neumática es importante que haya una colaboración entre ambos, aunque lógicamente éste debe estar subordinado a aquél.

Conocido lo anterior conviene realizar el circuito, si fuese posible, dividiendo el problema en aquellas partes en que haya un cierto deslinde entre las mismas. Por otra parte se debe empezar resolviendo los movimientos básicos de cada cilindro, sin cumplir todos sus condicionamientos, para luego ir añadiendo otros con las relaciones consiguientes entre ellos. Posteriormente se van incorporando aquellos elementos que hagan cumplir cada uno de los requisitos exigidos por el proceso.

Recordamos, que tal como ha quedado dicho, el circuito que se resuelve en un principio es el funcional. Una vez resuelto el circuito neumático se seleccionan los cilindros, las válvulas, los controles de velocidad, los sensores y otros elementos, así como los racores de unión y las tuberías necesarias. Las cuestiones a definir son: Tipo, sección transversal, carrera, materiales, fijaciones, etc.

Lo anterior se resuelve en paralelo con lo que se denomina esquema posicional, es decir que se ha de decidir en que lugar exacto se dispone cada elemento, sus fijaciones y el trazado de las conducciones. Se debe poner especial cuidado en que los vástagos de los cilindros no sufran pandeo ni flexiones superiores a lo admisible.

Por otra parte, es fundamental para resolver bien el problema conocer lo que ofrecen las casas fabricantes, mediante sus catálogos comerciales, pues un circuito está constituido al 100% de elementos comerciales, salvo determinadas fijaciones y algunas piezas que unidos a los vástagos efectúen ciertos desplazamientos del proceso. Por último queremos resaltar que dichas empresas están continuamente desarrollando novedades por lo que es preciso estar rigurosamente al día.

Para introducir al lector en esta técnica se presenta a título de ejemplo la resolución de un circuito neumático usando un determinado método, que no significa que sea único, donde la experiencia u oficio en el tema juega un papel importante.

5.4.1 Esquema del proceso

El proceso a resolver consiste en extraer un caldo de una cubeta mediante una cuchara especial, cuyo mango tiene una canaleta por donde pueda circular aquél. Se diseña el proceso de tal manera que cuando el vástago del cilindro se encuentre en su posición anterior, la cuchara esté introducida en el caldo, mientras que si su disposición es la posterior la cuchara se encontrará fuera. Mediante un pulsador ha de hacerse bajar lentamente la cuchara, ésta ha de levantarse lentamente, en principio por inversión automática de la marcha (figura 5-6).

Obsérvese que el pie posterior del cilindro se halla sujeto a un punto fijo mediante una charnela para facilitar su giro, así como los dos puntos de sujeción de la cuchara.

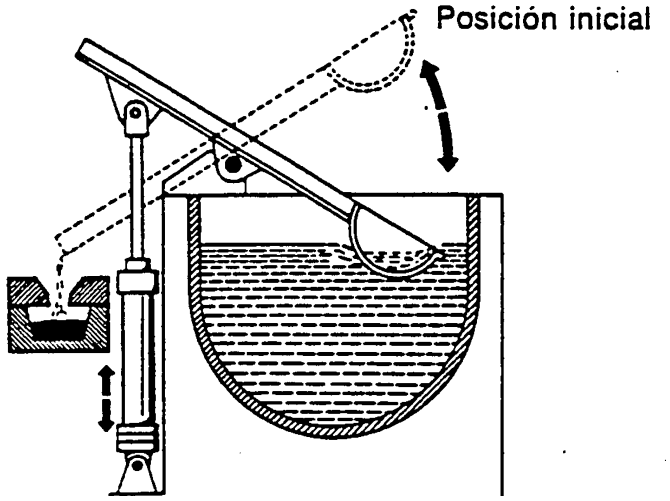


Figura 5-6. Accionamiento de una cuchara de colada

5.4.2 Esquema del circuito funcional

La resolución del proceso planteado no es única, pues diferentes circuitos neumáticos pueden conducir a la misma solución; esto no significa que todos lo hagan con la misma perfección y fiabilidad. En este primer ejemplo que se presenta se comienza con la solución más simple, introduciéndose nuevos elementos, poco a poco, hasta conseguir la solución deseada a plena satisfacción de los diseñadores.

En todo caso 0Z es el equipo de mantenimiento, situado al comienzo de la acometida del aire comprimido que lo filtra, regula y mide su presión y lo lubrica.

MANDO DIRECTO

Se ha resuelto el circuito, en primer término, con mando directo que es la solución más sencilla, donde el operario actúa directamente sobre el cilindro que desplaza la cuchara (figura 5-

7). Se ha adoptado un cilindro de doble efecto con doble amortiguación para evitar el golpe seco de final de carrera. La válvula seleccionada es 5/2, monoestable, accionada manualmente, con enclavamiento y reposicionada por muelle

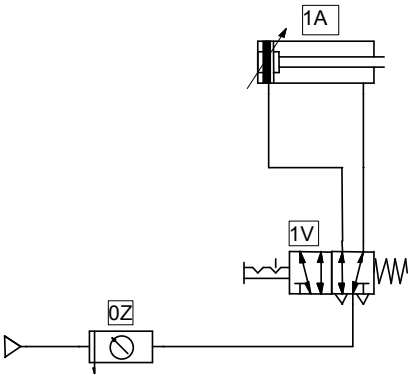


Figura 5-7. Resolución mediante mando directo

SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Se pulsa 1V, pasa aire a presión a su través, penetra aire a presión en el lado izquierdo del émbolo de 1A, el aire sale a la atmósfera del lado derecho del émbolo a través de 1V, sale su vástago, la cuchara se hunde en el caldo. Cuando el operario elimina el enclavamiento de 1V, ésta se reposiciona por muelle, penetra aire a presión por el lado derecho (ld) de 1A y sale de su lado izquierdo (li) a la atmósfera a través de 1V. La cuchara sale del caldo. Cuando el vástago de 1A llega a su punto muerto posterior termina el ciclo.

En los circuitos siguientes para abreviar el lenguaje, cuando se diga que entra aire significará que es a presión y cuando se afirme que sale se sobrentenderá que es a la atmósfera.

Se advierte, por otra parte, que tanto cuidado hay que poner en la entrada de aire a presión en el lado del émbolo correspondiente como en la salida del aire a la atmósfera del otro lado; esto resulta en principio automático con la inversión de la válvula, pero en algunos casos no es así como veremos más adelante.

MANDO INDIRECTO

La segunda solución se ha diseñado con mando indirecto en el que el operario no actúa directamente sobre el cilindro sino sobre una válvula de gobierno intermedia. Esta solución es la normalmente utilizada, pues permite una mayor versatilidad en los movimientos y una mayor facilidad en la automatización (figura 5-8). Se ha dispuesto una válvula de gobierno 1V entre la válvula 1S actuada por el operario y el cilindro. La válvula 1V es 5/2, monoestable, pilotada y reposicionada por muelle. La válvula sobre la que actúa el operario ha dejado de ser de gobierno y se ha convertido en válvula de señal por la que su nomenclatura es 1S.

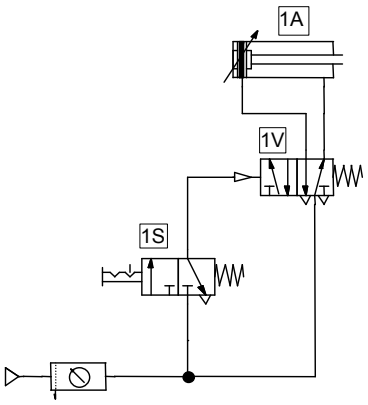


Figura 5-8. Resolución mediante mando indirecto

SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Cuando se pulsa 1S, pasa aire a su través, se pilota el lado izquierdo de 1V - pli1V, se invierte, penetra aire en el li de 1A, sale del ld a través de 1V, comienza a salir el vástago de 1A, la cuchara se introduce en el caldo. Cuando el operario elimina el enclavamiento de 1S se reposiciona por muelle, se elimina el pilotaje del lado izquierdo de 1V - epi1V, ésta se reposiciona por muelle, penetra aire por el ld de 1A, sale de su lado izquierdo a través de 1V, su vástago empieza a entrar. Cuando 1A llega a su fin de carrera anterior habrá concluido el proceso.

RETORNO AUTOMÁTICO

Avanzando en la solución, se desea que el retorno del vástago sea automático sin intervención del operario, para ello se dispone una nueva válvula 1S2 que sea actuada por el propio vástago cuando alcance su fin de carrera anterior (figura 5-9). La válvula de gobierno monoestable se ha sustituido en este caso por otra biestable doblemente pilotada, mientras que en la 1S1 se ha eliminado el enclavamiento. La válvula 1S2 es 3/2, monoestable, con accionamiento mediante rodillo por el propio vástago y reposicionamiento por muelle.

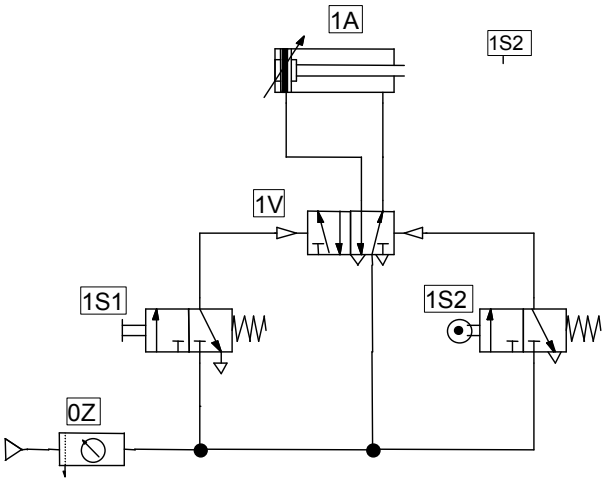


Figura 5-9. Solución con retorno automático del vástago

SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Se pulsa 1S1, se pli1V, el pd1V está a escape a través de 1S2; se invierte 1V, penetra aire en li1A, sale aire ld a través de 1V, el vástago sale, la cuchara penetra en el caldo. Cuando 1A llega a su posición anterior actúa sobre 1S2, se invierte, pasa aire a su través, pld1V, el pi se habrá eliminado cuando el operario deje de pulsar 1S1, 1V se invierte a posición de dibujo, penetra aire en ld1A, sale de li a través de 1V, el vástago comienza a entrar, deja de actuar sobre 1S2, se epd1V, la cuchara sale del caldo. Cuando 1A alcanza su posición posterior el ciclo habrá terminado.

Normalmente en toda automatización los ciclos son repetitivos, por ello se debe poner especial atención que todos y cada uno de los elementos de un circuito neumático vuelvan a la posición de partida cuando concluya un ciclo.

LIMITACIÓN DE VELOCIDAD

Observando el proceso industrial que estamos resolviendo puede pensarse que dado que la velocidad de los cilindros neumáticos es alta puede ocurrir que tanto a la entrada como a la salida de la cuchara se produzcan salpicaduras. Para evitarlas es conveniente limitar la velocidad de desplazamiento de la cuchara.

Para ello, si se desea regular la velocidad de la cuchara, tanto a la entrada como a la salida, se disponen sendas válvulas antirretorno con estrangulamiento, tal como se muestra en la figura 5-10.

Como se ha advertido más arriba es conveniente disponer las válvulas antirretorno de manera que se facilite la entrada de aire al cilindro y se dificulte su salida, así el émbolo trabaja entre dos colchones de aire y se obtiene una mejor regulación de la velocidad.

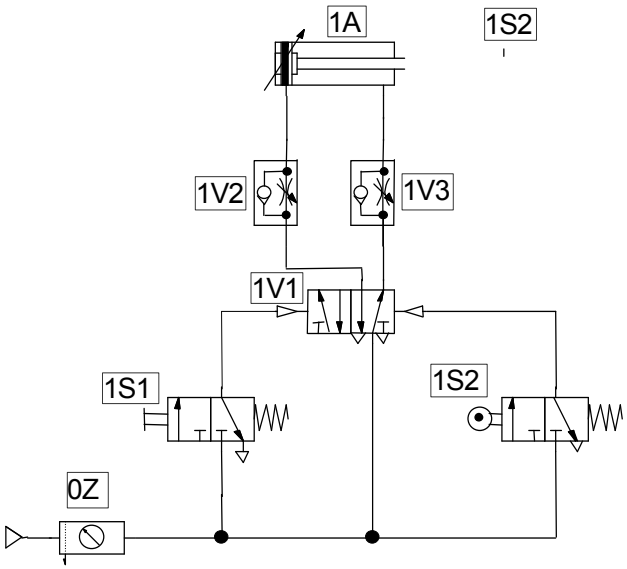


Figura 5-10. Regulación de la velocidad de entrada y salida del vástago.

ELIMINACIÓN DE INTERFERENCIA

Se denomina interferencia de señales al caso en que cuando se desea efectuar un movimiento se sigue actuando sobre aquel elemento que produjo el efecto contrario, es decir se está produciendo una señal indeseada que interfiere.

En el caso de producirse una interferencia el circuito llega a ese punto y se para, pues no se produce el movimiento deseado.

Pues bien, la solución anterior puede tener un problema de interferencia, si el operario sigue pulsando 1S1 cuando el vástago de 1A llega a su posición anterior y actúa sobre 1S2, se produce doble pilotaje sobre 1V, pues le llega aire al ld a través de 1S2 y al li mediante 1S1. Se dice que se ha producido una interferencia. En tal caso 1V permanece tal como se encontraba antes y no se invierte, el proceso quedará parado hasta tanto el operario deje de pulsar 1S1.

Para evitar tal interferencia se dispone una nueva válvula 1S3 que tiene como finalidad la eliminación del pi1V aunque el operario siga pulsando 1S1 (figura 5-11).

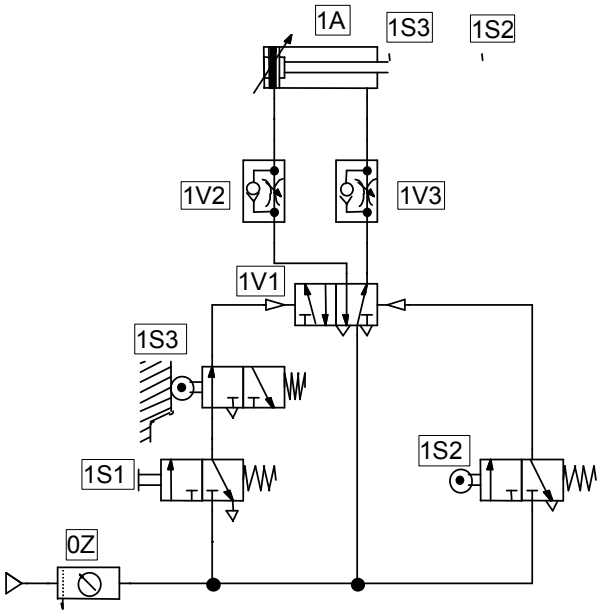


Figura 5-11. Eliminación de interferencia.

En el momento que el vástago del cilindro 1A sale, la válvula 1S3, que se encuentra pulsada por el propio vástago, adquiere su posición estable por acción del muelle, cierra el paso de aire que viene de 1S1 y a su vez elimina el pilotaje izquierdo de 1V. Lo demás es igual al caso ya explicado.

CICLO CONTINUO

Si el ciclo que hasta ahora es intermitente se desea convertirlo en continuo sin intervención del usuario, basta con sustituir la válvula 1S1 por otra igual pero con enclavamiento. En tal caso cuando el vástago de 1A regresa a su posición posterior, 1S3 se pulsa, y comienza un nuevo ciclo idéntico al ya descrito (figura 5-12).

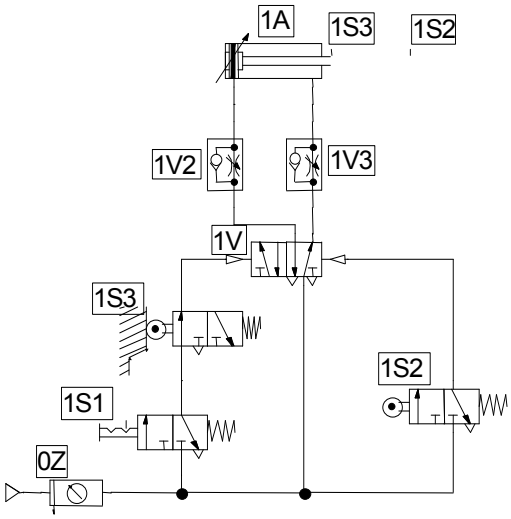


Figura 5-12. Ciclo continuo.

TEMPORIZACIÓN

Prosiguiendo con el perfeccionamiento del proceso, puede pensarse ahora que es interesante que la cuchara permanezca un lapso de tiempo fuera del caldo para permitir que la cuchara se vacíe a través de su mango canaleta.

Para ello se dispone de un temporizador 1Z entre la válvulas 1S3 y 1V1. En este caso una vez que el vástago ha alcanzado su punto muerto posterior, se haya pulsado 1S3 y comenzado a pasar aire a su través, empieza a incrementarse la presión del depósito del temporizador y transcurrido un cierto tiempo, que se regula mediante el restrictor de 1Z, se invierte la válvula 3/2 del temporizador, se pli1V y el proceso continua igual al ya descrito (figura 5-13).

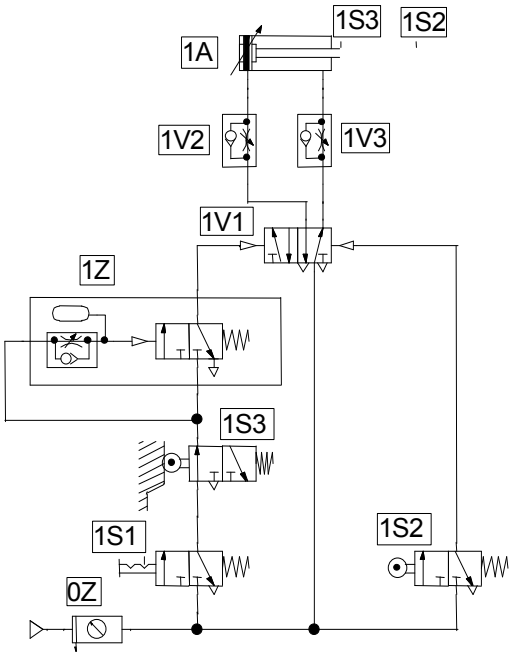


Figura 5-13. Proceso con un temporizador.

DOBLE TEMPORIZACIÓN

Si se creyese también conveniente dejar transcurrir un determinado tiempo con la cuchara sumergida para que se llenase ésta antes de comenzar a emerger, sería necesario disponer un segundo temporizador 1Z2 entre las válvulas 1S2 y 1V1. El proceso sería análogo al acabado de explicar (figura 5-14).

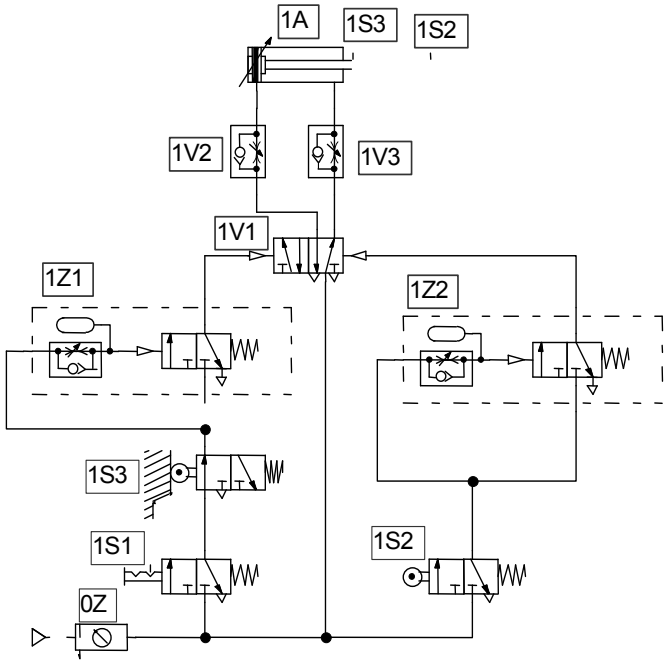
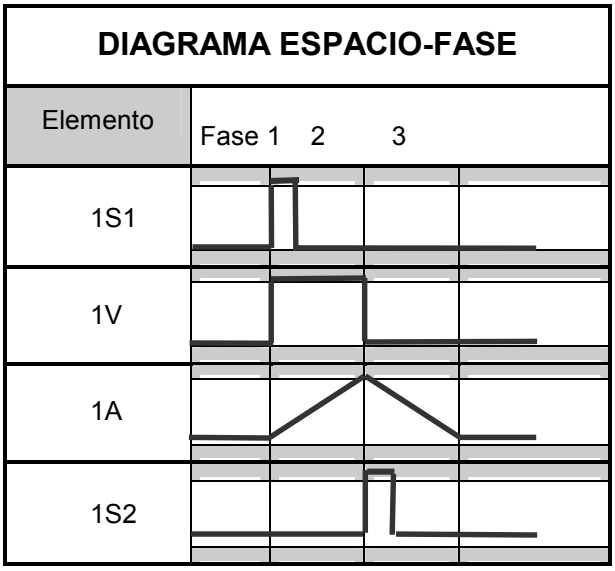


Figura 5-14. Proceso con dos temporizadores

5.4.3 Diagrama espacio – fase

A continuación se acompaña el diagrama espacio – fase correspondiente al circuito neumático de la figura 5-14.



5.5 Ejemplos resueltos

Después de haber estudiado en los apartados anteriores las normas que se han de seguir para representar los circuitos neumáticos, así como la forma de confeccionarlos, se incluyen algunos ejemplos resueltos partiendo del proceso industrial que se pretende resolver.

5.5.1 Manipulación de piezas

Se trata de extraer piezas de un cargador por gravedad y depositarlas sobre un plano inclinado para apilarlas en una caja donde se han de embalar

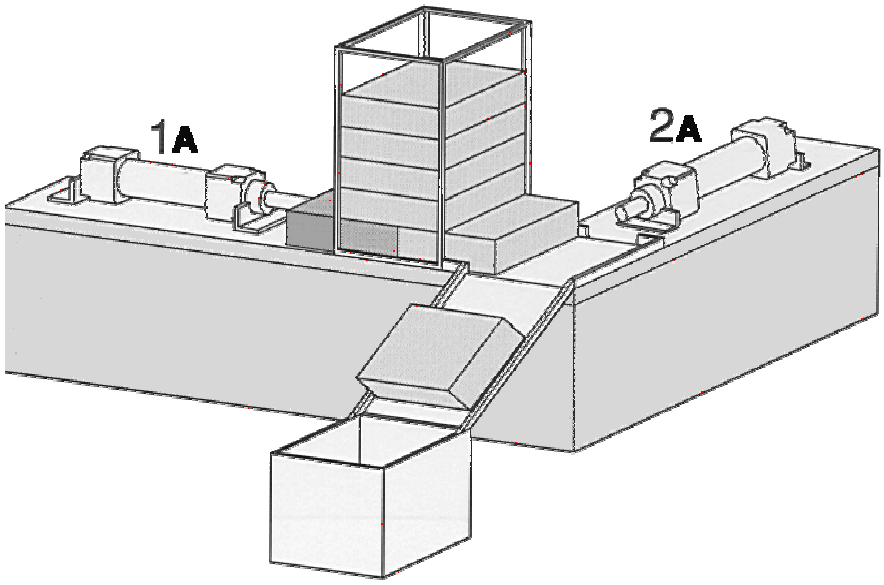
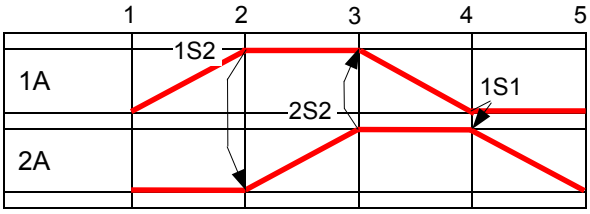


Figura 5-15. Proceso de manipulación de piezas.

Oprimiendo un pulsador, el cilindro 1A extrae una pieza del cargador y la deposita delante de un segundo cilindro – 2A – que desplaza la pieza hasta el plano inclinado. Concluida la operación, primero retrocede 1A y a continuación, hace lo mismo 2A.

Para que las piezas sean desplazadas adecuadamente, es necesario detectar las posiciones de inicio y de final de carrera de los vástagos de ambos cilindros. Dichos sensores llevarán la denominación 1S1, 1S2 que estarán situados respectivamente al principio y al final de carrera del primer cilindro y los sensores 2S1 y 2S2 correspondientes al cilindro 2A.

DIAGRAMA ESPACIO-FASE



Secuencia: 1A+ 2A+ 1A- 2A-

ESQUEMA DEL CIRCUITO NEUMÁTICO (FIGURA 5-16)

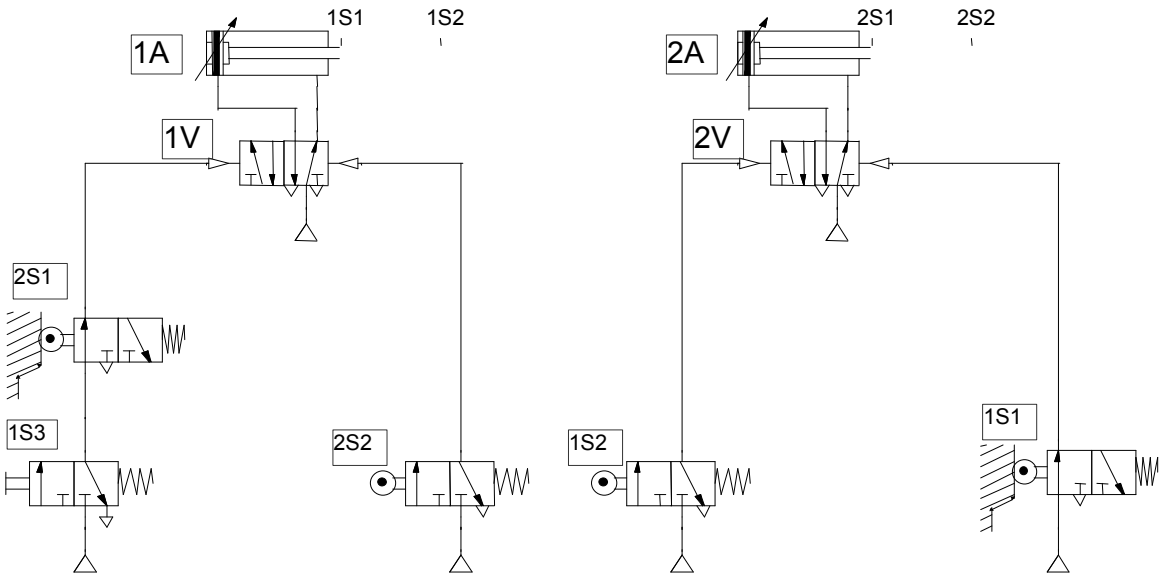


Figura 5-16. Circuito neumático del proceso de manipulación de piezas.

SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Al pulsar 1S3 pasa aire hacia 2S1 que se encuentra en la posición inestable por la acción del vástago del cilindro 2A en posición posterior; en esa situación deja pasar el aire para producir el pli 1V. El pld 1V está a escape porque el final de carrera -2S2 - de 2A no está accionado. El cilindro 1A realizará el primer movimiento 1A+.

Al llegar 1A a su final de carrera accionará el sensor 1S2, que actuará sobre la válvula 1S2, dejará pasar el aire hacia el pli 2V, éste se invierte porque 1S1 está en la posición opuesta a la del dibujo debido a que el cilindro 1A deja de actuar sobre ella en el momento en que su vástago comienza a salir. Al invertirse 2V, se verifica 2A+.

Cuando 2A llega al final de carrera acciona 2S2, se invierte, deja pasar aire, se pld 1V. El pli está puesto a escape por la válvula 2S1 que está en la posición inversa a la del dibujo. 1V vuelve a posición de dibujo, penetra aire ld1A, se verifica 1A-.

Cuando 1A llega al inicio de su carrera actúa sobre 1S1, que pasa a posición inestable, regresa a posición de dibujo, pilota el lado derecho 2V debido a que 1S2 ha vuelto a su posición de dibujo al penetrar 1A. Con este pilotaje se consigue que el cilindro 2A vuelva a su inicio de carrera: 2A-. Cuando este movimiento concluye 2S1 regresa a su posición de dibujo y todo el sistema vuelve a adquirir la situación de partida pudiendo comenzar un nuevo ciclo.

5.5.2 Compactador doméstico de basura

Se trata de un artilugio que tiene por finalidad compactar la basura generada en un hogar. La basura vertida en un primer compartimiento (C1) se arrastra a un segundo (C2) donde se compacta; cuando se alcanza un determinado grado de compactación se retira manualmente por la parte inferior (figura 5-17).

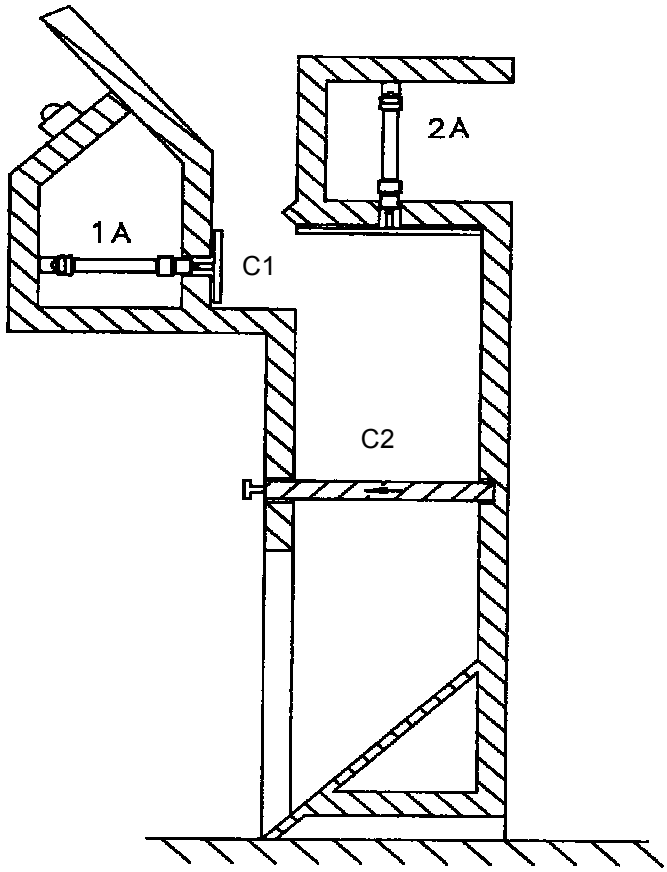
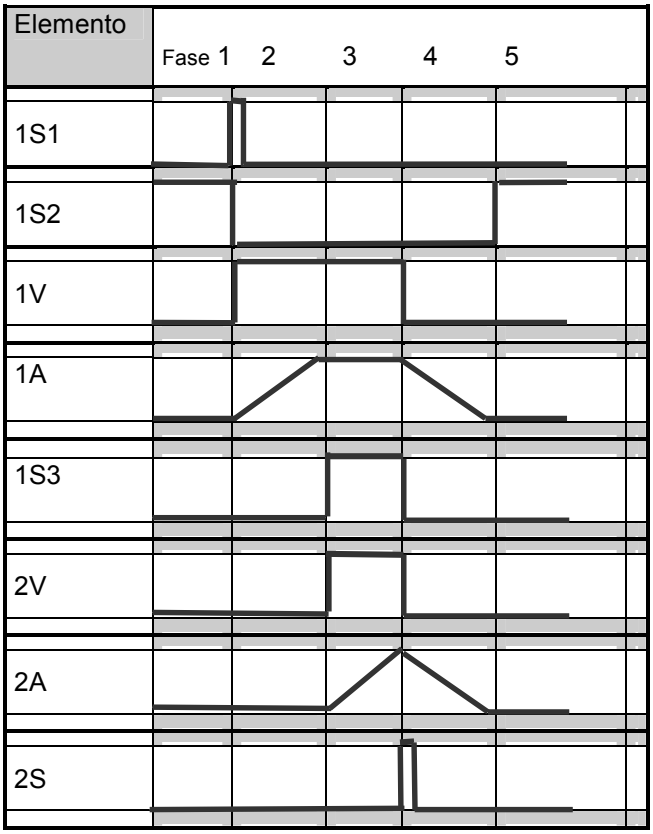


Figura 5-17. Proceso de un compactador doméstico de basuras.

El sistema trabaja a una presión máxima de 3 bar, está equipado con un cilindro empujador – 1A – y otro cilindro compactador – 2A -, el cual ejerce una fuerza máxima de 2200 N. Si se oprime el pulsador de puesta en marcha avanza en primer lugar el empujador y a continuación el compactador, regresando ambos al unísono.

En el caso de que el compactador no alcance la posición extrema anterior porque se encuentre lleno, la carrera de retroceso de ambos cilindros se iniciará por medio de una válvula de secuencia – 0Z3. Ésta actúa cuando la presión alcanza el valor de 2,8 bar. Cuando esto ocurre se vacía el depósito de basura compactada retirando la bandeja horizontal dispuesta debajo, cayendo el fardo por gravedad. Esta parte del proceso no se incluye dentro del proceso neumático.

DIAGRAMA ESPACIO – FASE



ESQUEMA DEL CIRCUITO NEUMÁTICO (FIGURA 5-18)

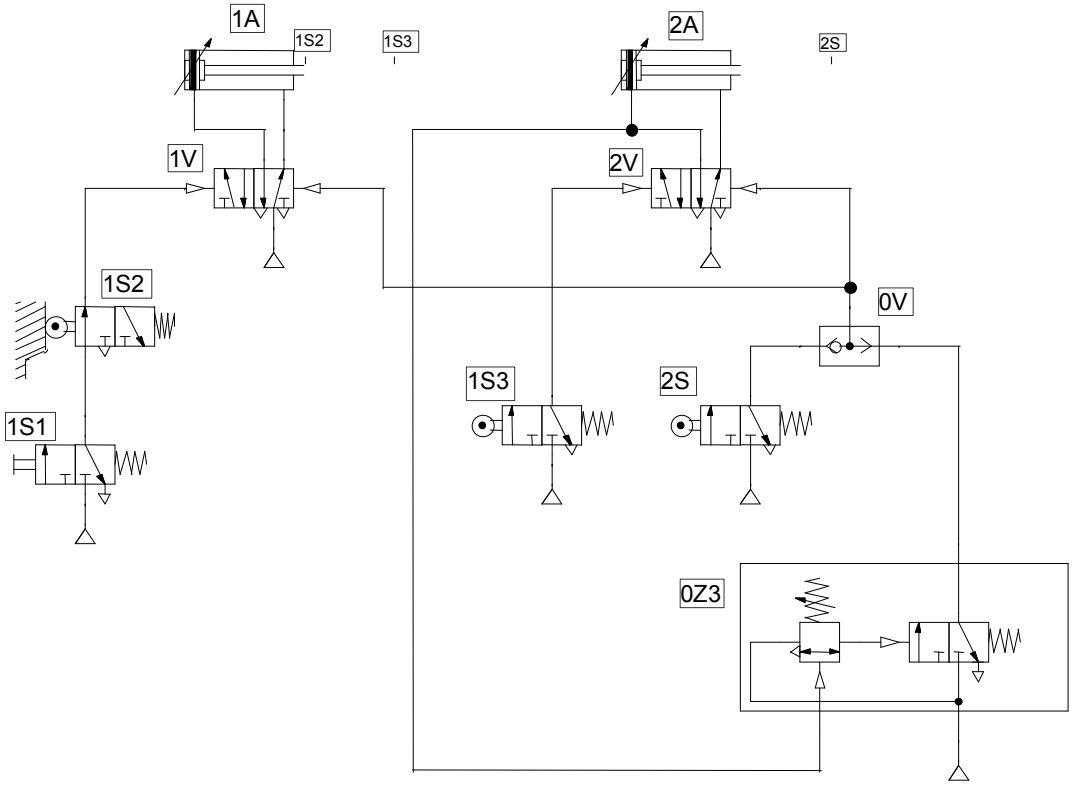


Figura 5-19. Esquema funcional del compactador de basura doméstico

SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Se pulsa 1S1, se invierte, pasa aire a su través; pasa aire a través de 1S2 que se encuentra en posición inestable debido a la geometría del vástago de 1A. Se pilota el lado izquierdo 1V; como el pilotaje del lado derecho de 1V está en contacto con la atmósfera gracias a 0V y 0Z3 se invierte 1V; pasa aire a su través. 1S1 se reposiciona por muelle en el instante en que deje de pulsarse, en tal momento elimina el pilotaje izquierdo 1V.

Entra aire en el li1A, como ld está a escape empieza 1A+, en ese momento la válvula 1S2 se reposiciona por muelle; elpi1V, éste se eliminaría aunque se siguiera pulsando 1S1. El vástago de 1A introduce la basura en el segundo compartimiento. y produce una primera compactación en dirección horizontal.

Cuando el vástago de 1A llega a su fin de carrera anterior pulsa 1S3, se invierte, pasa aire a su través, pilota el lado izquierdo 2V; como el ld2V está en contacto con la atmósfera gracias a 0V y 0Z3, se invierte, pasa aire a su través. El aire entra por el li2A y en paralelo se dirige a 0Z3; no actuará sobre esta válvula hasta que la presión en el conducto que llega a ella no alcance un valor de 2,8 bar.

Como el lado derecho está a escape empieza 2A+; compacta la basura y si el depósito no está lleno no se alcanza la presión de 2,8 bar en el conducto de alimentación y llega hasta su fin de carrera posterior 2S.

Pulsa 2S, la invierte, pasa aire a su través; el aire llega a la válvula selectora de circuito 0V y la invierte, pasa aire a su través. El aire se dirige hacia los lados derechos de 1V y 2V, los pilota; en el caso de 1V la invierte pasando a posición de dibujo, dado que su lado izquierdo está en contacto con la atmósfera; en el caso de 2V no lo puede hacer pues su lado izquierdo está pilotado.

Como li1A está a escape, empieza 1A-, su vástago deja de pulsar 1S3, ésta se reposiciona por muelle, elpi2V a través de 1S3. Se invierte 2V; pasa a posición de dibujo, pasa aire a través de 2V hacia el ld2A; como el li está a escape empieza 2A-.

Deja de pulsar 2S, se invierte, los lados derechos de 1V y 2V se ponen a escape a través de 0V y 2S , eliminándose sus correspondientes pilotajes.

El vástago de 1A cuando llega a su punto muerto posterior actúa sobre 1S2, pasando a la posición inestable de dibujo; el vástago de 2A termina también de entrar y todo el sistema se encuentra en la posición primitiva dispuesto a volver a actuar en el momento en que se presione nuevamente 1S1.

En el caso en que el depósito de basura se encuentre lleno el vástago de 2A no podrá alcanzar su fin de carrera y la presión del conducto de alimentación incrementará su magnitud hasta alcanzar los 2,8 bar a que se encuentra tarada la válvula de secuencia 0Z3.

En tal instante se vence la fuerza del resorte de la válvula de presión de 0Z3, se invierte, pasa aire a través de dicha válvula y se pilota la válvula 3/2 de la misma; pasa aire a su través y llega a la válvula selectora 0V, pasa aire a través de ella y llega a los lados derechos de 1V y 2V sucediendo las cosas a partir de aquí igual que en el caso anterior, salvo que la eliminación de los pilotajes derechos de 1V y 2V necesitan que previamente se elimine la presión existente en el conducto 2V - 0Z3, lo cual se verifica cuando se invierte 2V a posición de dibujo.

5.6 Circuitos con interferencias

Se denomina interferencia de señales, tal como se ha indicado anteriormente, al caso en que cuando se desea efectuar un movimiento se sigue actuando sobre aquel elemento que produjo el efecto contrario, es decir se está produciendo una señal que interfiere. En el caso de producirse una interferencia el circuito llega a ese punto y se para, pues no se produce el movimiento deseado.

Para que no se produzca una interferencia es necesario que entre dos movimientos del mismo cilindro, 1A+, 1A-, exista el movimiento contrario al que produjo el primero de los dos movimientos. Por ejemplo en la secuencia 1A+, 2A+ , 1A- , 2A- ; entre 1A+ y 1A- existe el movimiento 2A+ que es el movimiento contrario al que produjo 1A+ . Además entre 2A+ y 2A- existe el movimiento 1A- que es el contrario al que produjo 2A+.

Por otra parte hay que tener en cuenta que un proceso no acaba con el último paso de su secuencia, sino que esta ha de volver a empezar, por ello la secuencia anterior debe ser estudiada completa, es decir: 1A+, 2A+, 1A-, 2A-; 1A+ , 2A+ , 1A- , 2A-. En esta secuencia tampoco hay interferencia entre 2A- y 2A+ por análogas razones a las mencionadas.

Si, a la inversa, no existe entre dos movimientos contrarios el opuesto al que produjo el primero de los dos movimientos, se forma una interferencia que será preciso eliminarla de alguna manera.

Por ejemplo en la secuencia 1A+, 2A+, 2A-, 1A-, entre 2A+ y 2A- existe interferencia. Si se adopta la secuencia completa 1A+, 2A+ , 2A-, 1A-; 1A+ , 2A+ , 2A-, 1A-;… entre 1A- y 1A+ se producirá otra interferencia.

Otro caso: 1A-, 2A+, 2A-, 1A+, 3A+, 3A-, 1A-, 2A+, 2A-, 1A+, 3A+, 3A- existirán interferencias entre 2A+ y 2A-, entre 3A+ y 3A- y entre 1A- y 1A+ por análogas razones a las ya mencionadas, pues aunque en este último caso existen movimientos intermedios entre dichos movimientos no está el contrario al que produjo el 1A-.

La solución de tales interferencias puede hacerse mediante válvulas que son accionadas con rodillos escamoteables que actúan instantáneamente tan solo cuando el vástago se mueve en un sentido. Sin embargo al ser un método con escasa fiabilidad ni se explica ni se aconseja. Para solucionar el problema se puede seguir el método intuitivo o bien uno sistemático, que obviamente propugnamos. Se explica todo ello mediante un ejemplo (apartado 5.6.1).

5.6.1 Proceso de fresado de una pieza

Se trata de hacer una ranura en marcos de madera por medio de una fresadora. El marco de madera es sujetado con un cilindro 1A, el avance de la mesa de la fresadora se efectúa con una unidad de avance neumática – hidráulica 2A (figura 5-20). La secuencia del proceso es 1A+,2A+, 2A-, 1A-; …, tal como se muestra en el diagrama adjunto. Siguiendo el método intuitivo un primer circuito podría ser el que se encuentra esquematizado en la figura 5-21.

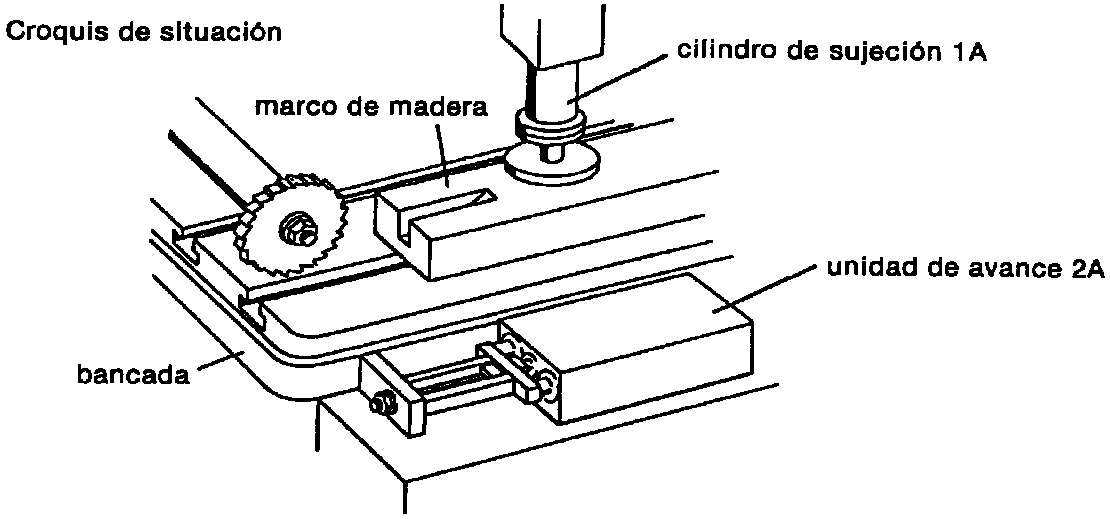


Figura 5-20. Fresado de un marco de madera.

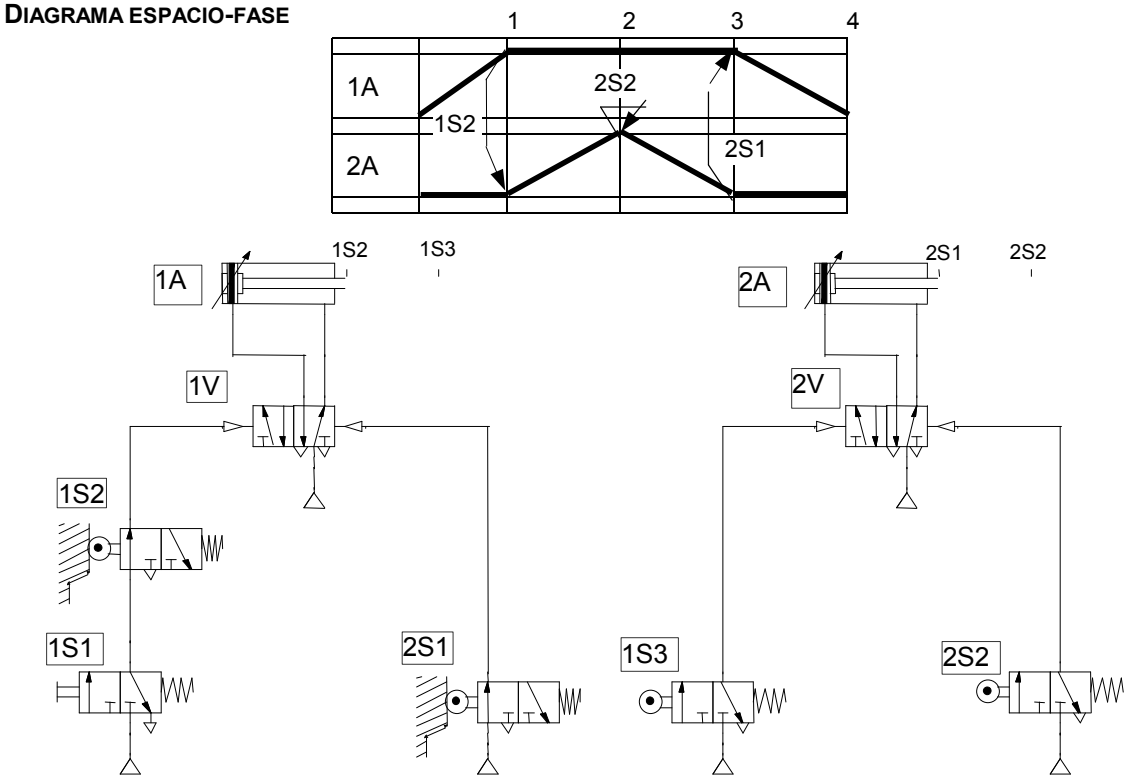
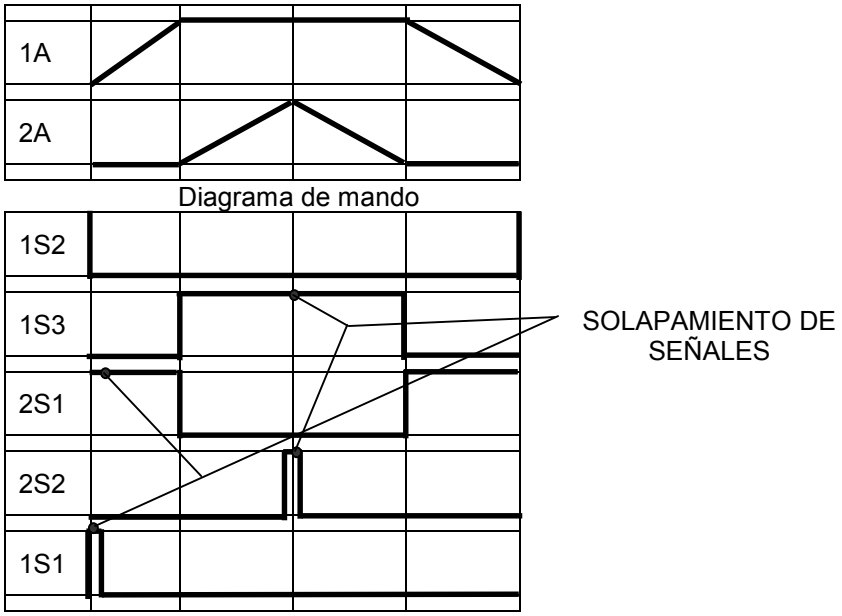


Figura 5-21. Circuito neumático con interferencias de un proceso de fresado.

El diagrama espacio fase sería el siguiente



Como se puede comprobar, de partida existe una primera interferencia al accionar el pulsador 1S1, se pilota el lado izquierdo 1V, 1V no se invierte puesto que 2S1 está pilotando el lado derecho de la válvula 1V, ya que 2A se encuentra en su posición posterior pisando aquélla. Un segundo problema se producirá en la fase 3 de manera análoga a la anterior pero con la válvula 2V.

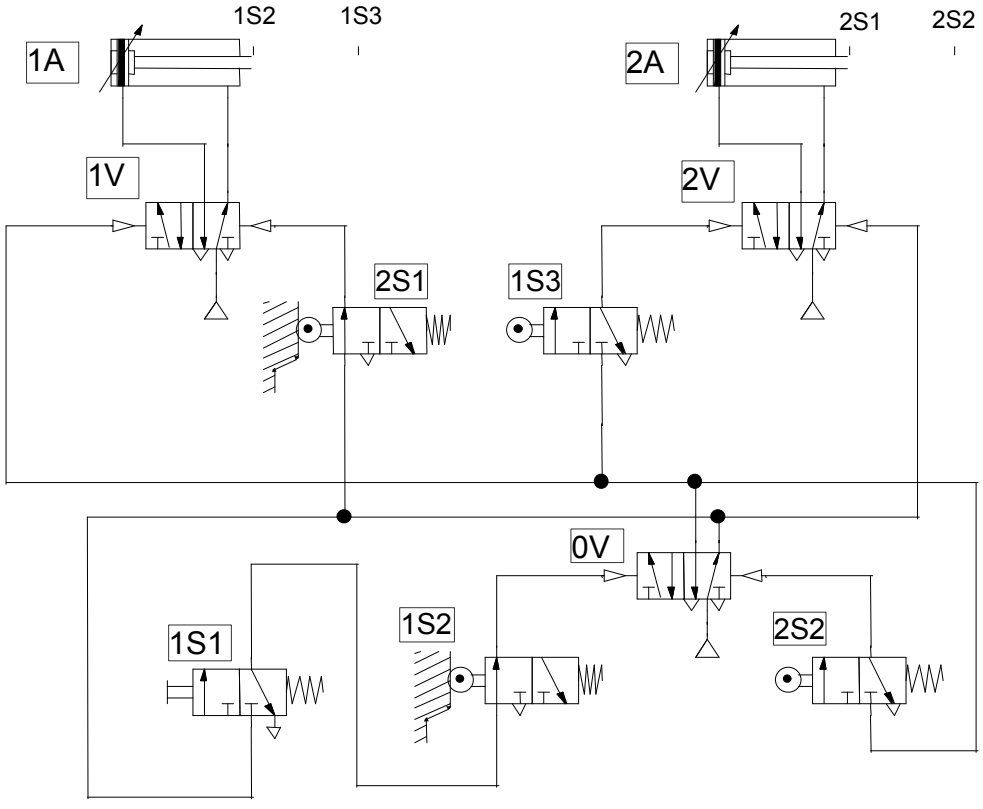


Figura 5-22. Circuito neumático sin interferencias del proceso de fresado

Se propone una primera solución al problema creando dos líneas auxiliares que se presuricen y despresuricen alternativamente al conmutar una válvula distribuidora 5/2 – 0V - (figura 5-22). Dicha válvula conmutará los pilotajes de las válvulas de gobierno 1V y 2V. Mientras no haya problemas de interferencia se mantendrá la válvula en una posición determinada, cuando surjan dichos problemas se cambiará de posición.

Como puede observarse en la nueva solución las válvulas 1S1 y 1S2 realizan el pilotaje de las válvulas 1V y 2V a través de la válvula 0V, mientras que en la solución de partida se hacía directamente.

Cuando el operario pulsa 1S1 el aire pasa a su través y de la 1S2 pilotando el lado izquierdo de 0V. Su pilotaje derecho está a escape a través de 2S2.

La válvula 0V se invierte, presurizándose la línea auxiliar superior y despresurizando la inferior. En este instante se verifican dos hechos, se pilota el lado izquierdo de 1V y a su vez se elimina el pilotaje del lado derecho de 1V, con esta acción se logra la primera fase de la secuencia: 1A+.

Cuando 1A+ llega al final de carrera acciona 1S3 y como no existe problema de interferencia en esta fase dicha válvula (1S3) toma aire de la misma vía de la válvula conmutadora 0V. De esta forma se consigue el pilotaje del lado izquierdo de 2V y el segundo movimiento de la secuencia: 2A+.

En el final de carrera de 2A se acciona 2S2 y se produce la segunda interferencia. Para solucionarla se conmuta nuevamente la válvula 0V, regresando a su posición original. El pilotaje izquierdo de 0V se ha eliminado anteriormente cuando se ha producido el 1A+. De esta forma 2S2 recibirá presión de la red y pilota el lado derecho de 0V. Al conmutarse 0V se presuriza la línea auxiliar inferior y se despresuriza la superior, de forma que se produce el movimiento 2A-.

Al llegar 2A a su posición posterior se acciona 2S1, se pilota el lado derecho de 1V, ésta se invierte debido a que el lado izquierdo está a escape por la válvula 0V. De esta forma se realiza el movimiento 1A- y finaliza la secuencia deseada.

5.7 Método sistemático para la resolución de interferencias

A continuación se explica un método sistemático, denominado en cascada, para resolver el problema de las interferencias. Consiste en anular cada señal en el momento en que ésta ya no haga falta. Para su explicación se continua con el ejemplo anterior.

Se dispone de unas señales de entrada que denominaremos $e_1 \ldots e_n$ y otras de salida $S_1 \ldots S_n$. Habrá igual número de entradas que de salidas y a cada una de las entradas le corresponderá una salida. A e_1 le corresponderá la salida S_1, a e_n le corresponderá la S_n. Con cada una de las salidas se realizará uno de los movimientos de nuestra secuencia, así S_1 proporcionará el movimiento 1A+, S_2 el movimiento 2A+ y así sucesivamente.

Las señales de salida deben de quedar memorizadas, es decir que aunque su señal de entrada correspondiente se anule debe permanecer la señal de salida hasta que se emita la siguiente señal de entrada. Neumáticamente esto queda resuelto con la utilización de una válvula biestable de forma que aunque se anule su pilotaje la válvula quedará en esa posición hasta que se pilote por el lado contrario.

Todo lo anterior queda resumido en el esquema que se muestra a continuación (figura 5-23).

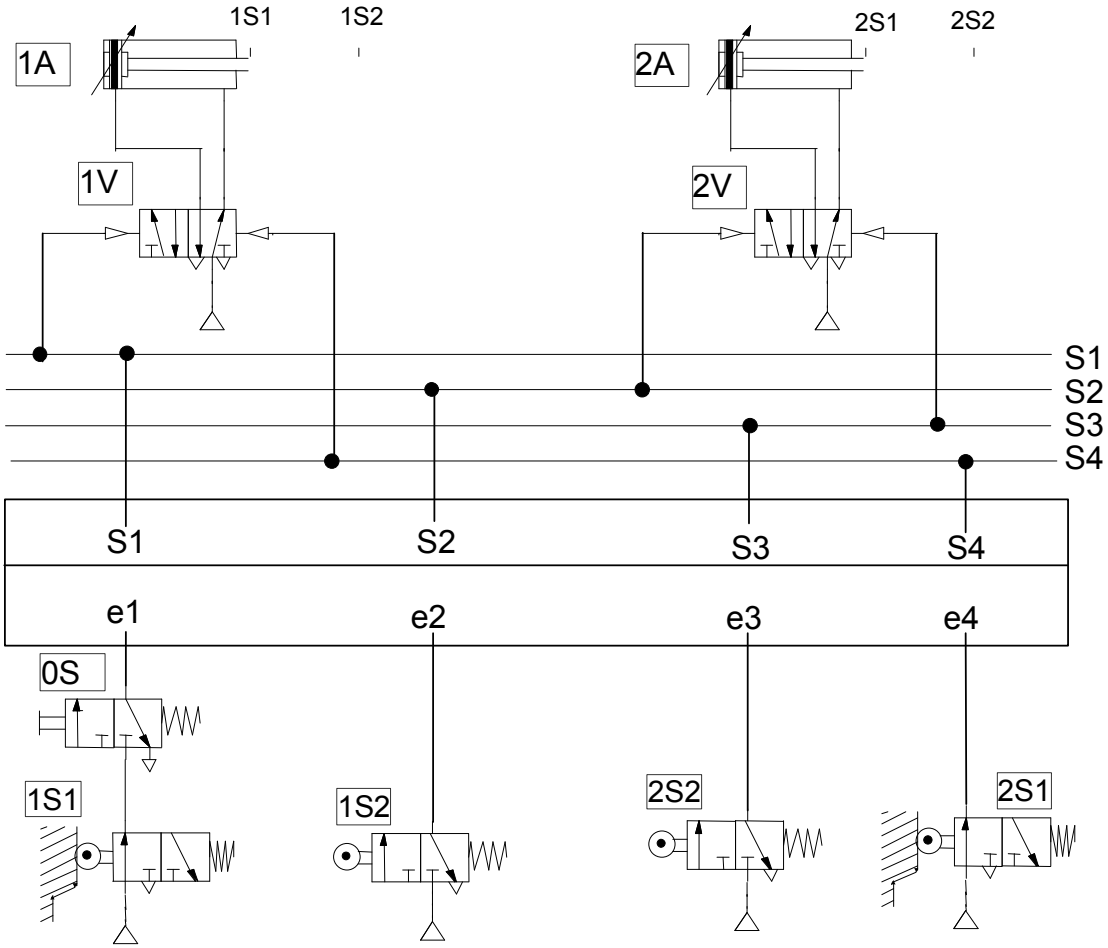


Figura 5-23. Método en cascada para eliminación de interferencias.

En este esquema se puede comprobar cómo para cada paso se dispone de una línea presurizada (S_1…S_4). Sólo una de dichas líneas deberá tener presión en cada paso. Las entradas son cada uno de los elementos introductores de señal de los que se dispone, en este ejemplo todos los finales de carrera más el pulsador de marcha.

Para que comience el primer paso debe estar activado el pulsador de marcha – 0S - y el elemento 1S1, para que exista seguridad de que el fin del ciclo anterior se haya cumplido. De esta forma la entrada e_1 deberá ser la suma de 0S y 1S1 activados. Al llegar al fin de carrera de 1A+ se debe cumplir el siguiente paso, luego e_2 será el elemento 1S2 y así sucesivamente como muestra la figura 5-24.

Ahora bien, queda por implementar en el esquema un bloque de secuencias que represente la relación entre las entradas y las salidas, que es lo que se realiza a continuación (figura 5-24).

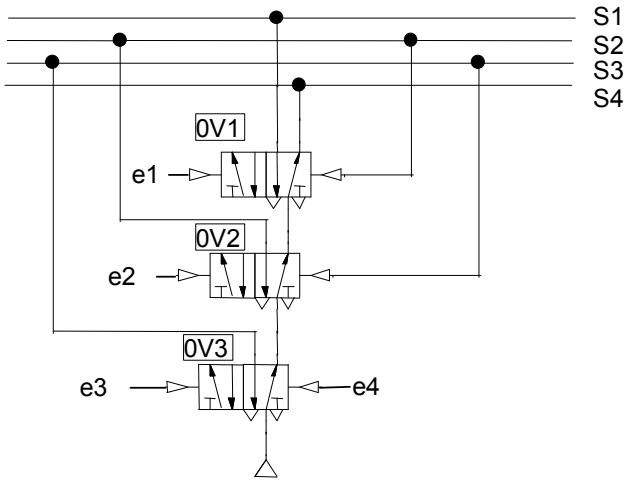


Figura 5-24. Relación entre entradas y salidas

La figura 5-25 muestra un conexionado de válvulas distribuidoras 5/2 que cumple, en principio, las condiciones necesarias para la anulación de señales tal como se necesita. La denominación “montaje en cascada” es debida a la conexión en forma escalonada de las válvulas 0V1, 0V2 y 0V3, consiguiendo con esto que en cada momento sólo se encuentre activada una única salida.

Hacen falta siempre n -1 válvulas, siendo n el número de pasos del proceso, que es igual, lógicamente, al número de salidas necesarias.

Con esta disposición se asegura que el aire a presión no esté disponible nada más que en una sola línea, estando las restantes a escape. En la posición de dibujo sólo se halla activada S4; si la válvula 0V1 se invierte estará activada solamente S1; si es el caso de 0V2 sólo actuará sobre S2 y, por último, si se invierte 0V3 únicamente se activará S3. Esto significa que tan solo ha de estar invertida con relación al dibujo un máximo de una de las válvulas 0V.

Otra característica es la correspondencia entre las entradas y salidas, es decir, cuando se activa la entrada e1 se activa la salida S1 y así sucesivamente.

Sin embargo al esquema de la figura 5-24 le falta un detalle. Al final de la carrera 2A+; se pisa 2S2; se activa e3; se pilota el lado izquierdo de 0V3; se invierte 0V3, ya que e4 está desactivada al estar 2A en posición anterior; se activa S3; se desactiva S4.

Pues bien en ese momento se produce una interferencia en la válvula 0V2, ya que al estar activado S3 se pilota el lado derecho de esta válvula de 0V2, sin que se elimine el aire comprimido en e2, ya que 1S2 está pisado, al estar 1A en posición anterior.

Para solucionar estos casos de interferencia se conecta cada señal de entrada, e_n, con la salida precedente, e_{n-1}, mediante una válvula de simultaneidad.

De esta manera al accionarse la entrada e_n se invertirá la válvula 0Vn y volverá a posición de dibujo 0V(n-1), siguiendo el proceso siguiente, que presentamos en uno de los cuatro casos posibles:

- Se halla invertida 0V2
- Activada S2; pilota el lado derecho 0V1 y retorna a posición de dibujo
- Se pilota el lado izquierdo 2V; el lado derecho de 2V no está activado, ya que S3 no se encuentra presurizada, puesto que 2S2 no está pisada; se invierte 2V, se produce 2A+.
- Se pisa 2S2; se activa e3; e3 + S2 producen el pilotaje del lado izquierdo de 0V3; se invierte 0V3, ya que e4 no está activada, pues 2S1 está en posición contraria a dibujo.
- Se activa S3 y simultáneamente se invierte a posición de dibujo 0V2, ya que el pilotaje del lado izquierdo 0V2 se habrá eliminado anteriormente cuando S1 se haya desactivado; se desactiva S2 a través de 0V2 y 0V3.

No nos extendemos con la totalidad de los casos pues el lector podrá hacerlo de manera análoga a lo acabado de exponer.

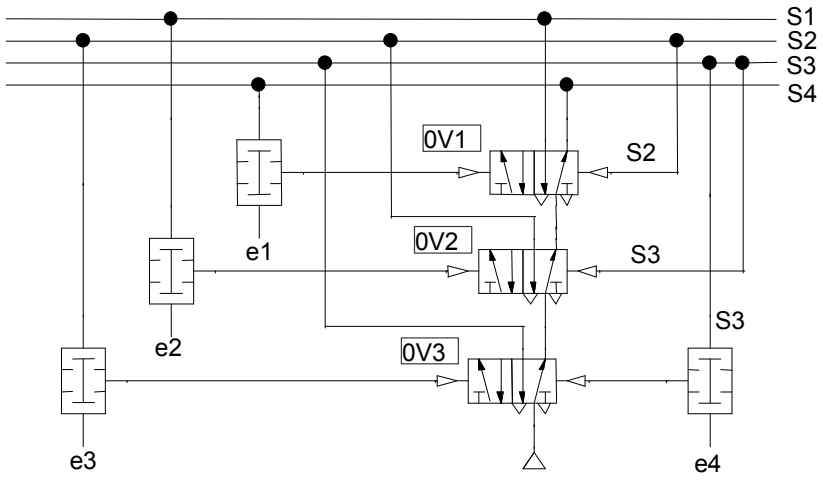


Figura 5-25. Resolución en cascada.

El montaje en cascada tiene varios inconvenientes, en primer lugar el número de elementos a utilizar es sensiblemente mayor que el usado en la solución meramente intuitiva (figura 5-22). Además, como para todas las señales de mando, solo se dispone de una entrada de presión, el aire debe recorrer varias válvulas hasta realizar su trabajo, con lo que la perdida de presión es considerable y la rapidez del mando se resiente. Por ello no se recomienda utilizar este método para más de 4 líneas.

El método explicado se puede simplificar notablemente. Para ello se han de seguir los pasos siguientes. En primer lugar se parte de la secuencia del proceso, en nuestro ejemplo: 1A+ 2A+ 2A- 1A-. A continuación se divide dicha secuencia en grupos, de forma que una orden de

maniobra, salida o entrada, para un mismo cilindro, debe de aparecer solo una vez en cada uno de los grupos.

De esta forma, en nuestro ejemplo, la secuencia quedará divida así:

GRUPO 1: 1A+ 2A+

GRUPO 2: 2A- 1A-

Para cada grupo hará falta una salida, en este caso 2, por lo tanto bastará con una única válvula conmutadora. En el movimiento que separa ambos grupos, entre 2A+ y 2A-, habrá que conmutar la válvula; en el resto de movimientos se podrán pilotar directamente las válvulas de gobierno. (figura 5-26).

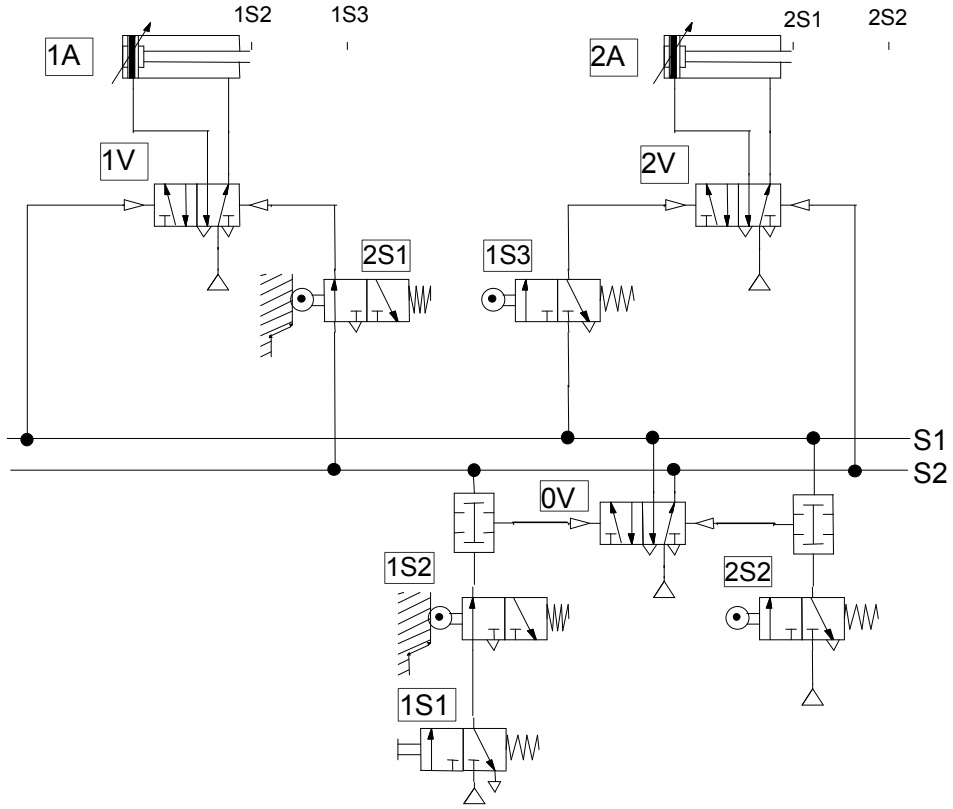


Figura 5-26. Resolución en cascada con menos líneas.

5.7.1 Marcado de piezas

Se trata de una máquina especial que tiene como finalidad marcar piezas, su alimentación se efectúa por gravedad, siendo empujadas contra un tope y sujetadas mediante el cilindro 1A, marcadas mediante el cilindro 2A y expulsadas mediante el cilindro 3A (figura 5-27).

El desarrollo de las fases ha de realizarse automáticamente con la posibilidad de elección entre ciclo único y ciclo continuo. La puesta en marcha se efectuará a través de un pulsador.

Un final de carrera detectará la existencia de piezas en el depósito. Cuando ya no hay piezas en el depósito, debe pararse la máquina en la posición inicial y quedar bloqueada hasta una nueva puesta en marcha.

Después del accionamiento del pulsador de paro de emergencia han de retornar los émbolos de los cilindros de inmediato a la posición inicial.

La secuencia de los cilindros del proceso es la que se puede apreciar en el diagrama espacio fase, es decir: 1A+ 2A+ 2A- 1A- 3A+ 3A-.

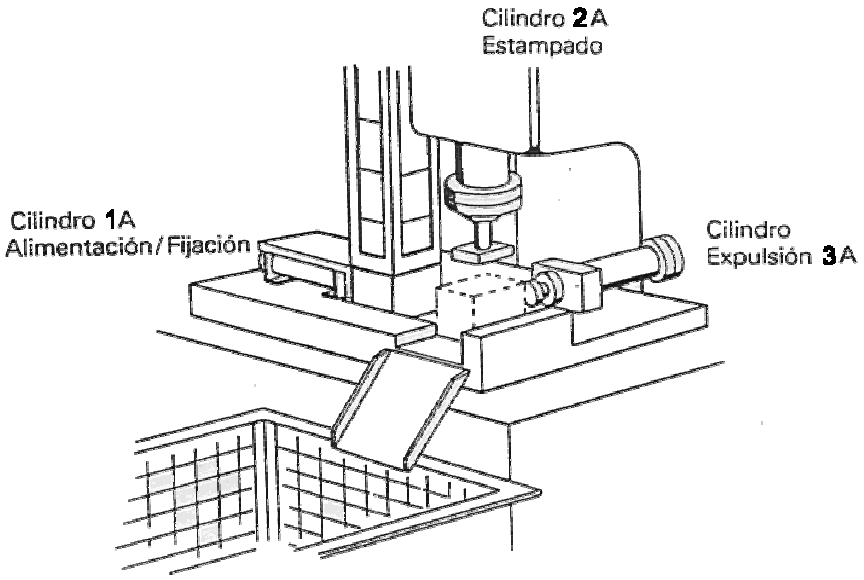
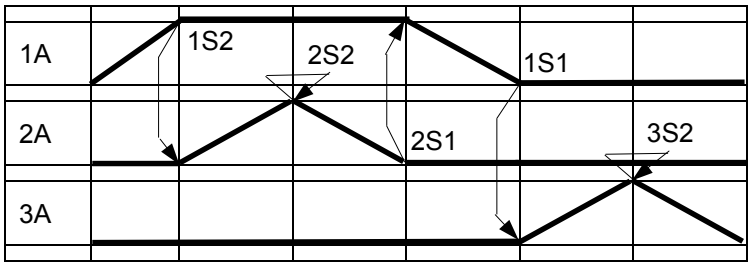


Figura 5-27. Esquema del proceso de marcado de piezas.

DIAGRAMA ESPACIO-FASE



Si se comienza con la elaboración del esquema funcional del circuito, se tienen de inicio los tres actuadores con sus respectivas válvulas de gobierno y sus respectivos elementos de señal o sensores, principio y final de carrera. (figura 5-28).

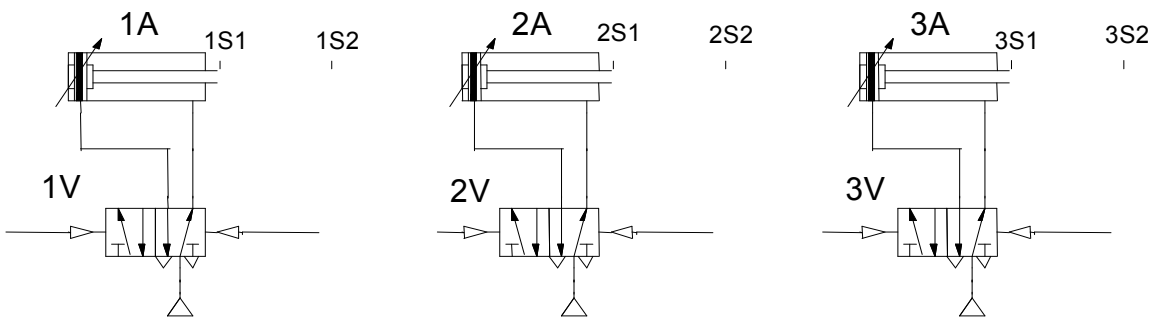


Figura 5-28.

La secuencia dividida en grupos resulta:

GRUPO 1: 1A+ 2A+

GRUPO 2: 2A- 1A- 3A+

GRUPO 3: 3A-

Así pues se necesitan 3 líneas de salida en el montaje en cascada, una para cada uno de los grupos y las válvulas conmutadoras. Dentro de cada grupo se disponen los elementos de señal correspondientes para terminar la secuencia correspondiente a cada grupo. Es decir, tomando la primera línea correspondiente al primer grupo, se puede conectar a ella el elemento 1S2 para que quede definida la secuencia 1A+, 2A+ (figura 5-29).

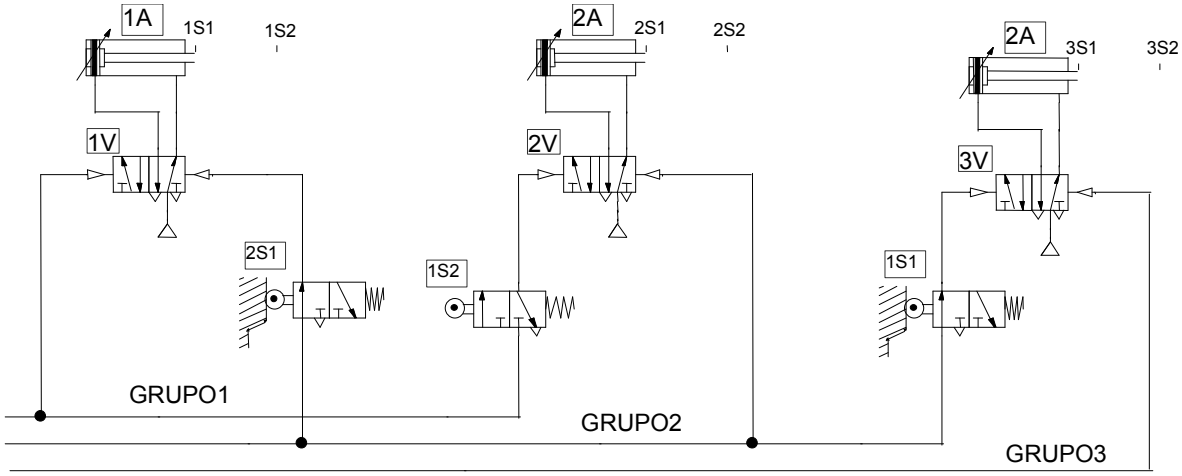


Figura 5-29. Circuito neumático.

Seguidamente se define la colocación de las dos válvulas conmutadoras en cascada (figura 5-30).

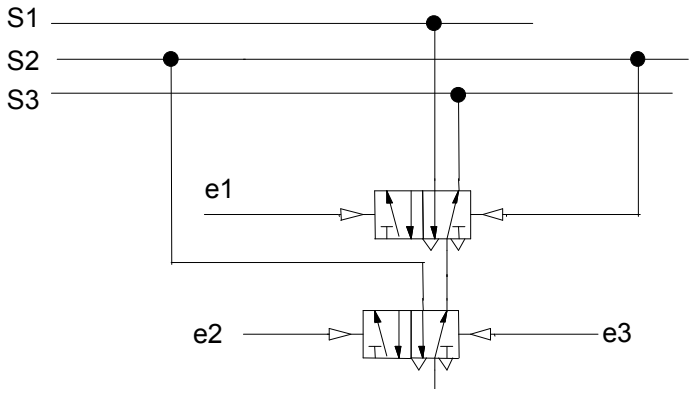


Figura 5-30. Disposición de válvulas conmutadoras.

Finalmente se definen los elementos de entrada a cada bloque *"en cascada",* que son las señales que son activadas al final de cada grupo en que se ha divido la secuencia. Es decir, e_1 es el pulsador de marcha, e_2 el del final de carrera que se activa al concluir el grupo1 (2S2) y e_3 es el

que se activa al final del grupo 2 (3S2). Como es preceptivo dichos elementos de señal se deben alimentar del aire proveniente del grupo de secuencia anterior (e_1 de S3, e_2 de S1 y e_3 de S2).

Después de incluir los elementos adicionales para el paro de emergencia el esquema será el de la figura 5-31.

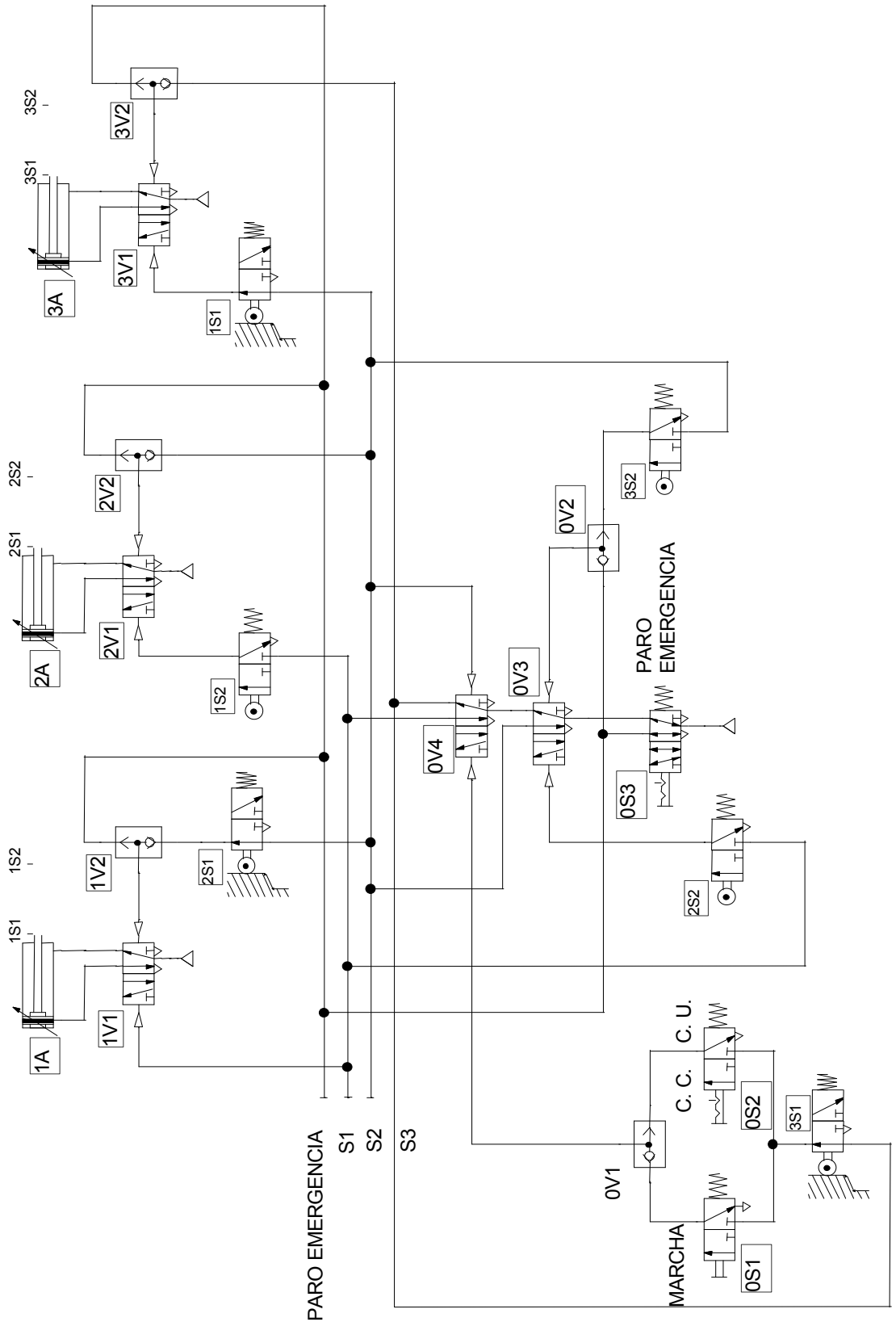


Figura 5-31. Esquema funcional del circuito neumático para el marcado de piezas.