

**Desarrollo y optimización  
de metodologías  
para el diseño e implementación de  
sistemas electrohidráulicos y  
electroneumáticos eficientes**

Autor: Javier Bouza Fernández

---

Tesis doctoral UDC / 2015

Directores: Dr. Salvador de las Heras Jiménez

Dra. M<sup>a</sup> Mercedes del Coro Fernández Feal

Departamento de Energía y Propulsión Marina.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



## Agradecimientos:

*A mis directores, el Doctor Salvador de las Heras Jiménez y la Doctora M<sup>a</sup> Mercedes del Coro Fernández Feal, por la confianza depositada, la orientación y su magnífico estímulo y ánimo continuo, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de este trabajo.*

*A la Prof.<sup>a</sup> Dra. Sonia Bouza Fernández, al Prof. Manolo Piñon Quiñonero y a Tomás Laguna Montero por su colaboración y sus ideas.*

*Agradecer a los muchos alumnos de las Titulaciones técnicas del Campus de Ferrol y a las Empresas, en las que he colaborado en sus proyectos de formación, por el espíritu de motivación que me han generado para seguir disfrutando, aprendiendo y transmitiendo el conocimiento de la tecnología oleoneumática y de su automatización.*

*Una mención especial a la antiguo “Astano” donde inicie mis primeros pasos y a la actual Navantia no sólo por ser un referente mundial en la industria de la Construcción Naval, sino por ser una fuente de conocimiento y aprendizaje para muchos ingenieros.*

*A las empresas como Festo, Vicker, Bosch-Rexrtoth, Parker, Siemens,...que han sido germen del conocimiento de las tecnologías en el ámbito del trabajo de esta Tesis.*

*A todas aquellas personas que de una forma u otra, han colaborado en la culminación de este trabajo, para ellos mi sincero agradecimiento.*





## Dedicatoria:

*A la memoria de mi padre, el Dr. José Luis Bouza Collado, por haberme educado en el espíritu de superación, en lo personal y en lo profesional. Que este trabajo sea un vivo testimonio de este espíritu y del recuerdo que siento por él.*

*A mis hijos Álvaro e Inés, para que siga una línea firme de superación y perseverancia y para que la “luz de su abuelo ilumine su camino”.*

*A mi esposa Isabel, a mis hermanos Sonia y José, a mi madre y a mis suegros por todo su cariño y apoyo.*



## RESUMEN

La introducción masiva de las Tecnologías Digitales en el campo de la Tecnología Oleoneumática ha modificado la forma en que se gobiernan sus diferentes elementos, facilitando el control y mejorando la fiabilidad de los diseños. No obstante, las fases de diseño, desarrollo y optimización de los sistemas oleoneumáticos en la actualidad, tanto en aplicaciones terrestres como navales, se centran en procedimientos intuitivos o métodos que requieren modificaciones y ajustes continuos hasta su implementación definitiva. En esta Tesis Doctoral se investigan los criterios y procedimientos de diseño a la hora de proyectar los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos desarrollados con controladores digitales programables que optimicen el binomio eficacia-simplicidad de las soluciones, sin omitir la seguridad humana y del sistema; y se desarrollan cuatro metodologías sistemáticas de carácter universal que permiten el diseño e implementación de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos industriales de la manera más eficiente y segura.



## RESUMO

Título: "Desenvolvemento e optimización de Metodoloxías para o deseño e implementación de Sistemas Electrohidráulicos e Electropneumáticos eficientes".

A introdución masiva das Tecnoloxías Dixitais no campo da Tecnoloxía Oleopneumática modificou a forma na que se gobernan os seus diferentes elementos, facilitando o control e mellorando a fiabilidade dos deseños. Non obstante, as fases de deseño, desenvolvemento e optimización dos sistemas oleopneumáticos na actualidade, tanto en aplicacións terrestres como navais, céntranse en procedementos intuitivos ou métodos que requiren modificacións e axustes continuos ata a súa implementación definitiva. Nesta Tese Doutoral investiganse os criterios e procedementos de deseño á hora de proxectar os sistemas electrohidráulicos e electropneumáticos desenvolvidos con controladores dixitais programables que optimicen o binomio eficacia-simplicidade das solucións, sen omitir a seguridade humana e do sistema; e desenvólvense catro metodoloxías sistemáticas de carácter universal que permiten o deseño e implementación de sistemas electrohidráulicos e electropneumáticos industriais do xeito máis eficiente e seguro.



## **ABSTRACT**

Title: “Methodologies for the design and implementation of efficient electropneumatic and electrohydraulic systems: Development and optimization”

The massive introduction of digital technologies in the field of Fluid Power Technology has changed the way its different elements are governed, facilitating control and improving the reliability of designs. However, nowadays, the phases of design, development and optimization of hydraulic and pneumatic systems, for both marine applications as for land systems, are developed through intuitive processes or methods which require continuous adjustments and modifications for its final implementation. In this Doctoral Thesis the criteria and procedures about electrohydraulic and electropneumatic systems design developed with programmable digital controllers are investigated in order to balance the binomial efficiency-simplicity of solutions, not omitting the human security and of system; and four systematic methodologies that allow design and implementation of industrial electropneumatic and electrohydraulic systems are developed in the most efficiently and safely.





# Índice



## ÍNDICE GENERAL

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Objetivos y Desarrollo de la Tesis</b>   | <b>7</b>  |
| <b>3</b> | <b>Estado del Arte</b>  | <b>13</b> |
| 3.1      | Configuración del Sistema Oleoneumático automatizado                                | 13        |
| 3.1.1    | Estructura  | 13        |
| 3.1.2    | Cadena de Mando   | 17        |
| 3.2      | Sistema de Mando o Control  | 18        |
| 3.2.1    | Definición de mando   | 18        |
| 3.2.2    | Clasificación de los mandos   | 19        |
|          | 3.2.2.1 <i>Clasificación según la forma con que se implementa</i>                   | 20        |
|          | 3.2.2.2 <i>Clasificación dependiendo de la tipología de señal con que opera</i>     | 22        |
|          | 3.2.2.3 <i>Clasificación fundamentándose en el modo de procesamiento de señales</i> | 25        |
| 3.2.3    | Configuración del Mando programable   | 26        |
| 3.2.4    | Algoritmo de control  | 29        |
| 3.3      | Representación de los Sistemas Oleoneumáticos                                       | 32        |
| 3.3.1    | Introducción  | 33        |
| 3.3.2    | Representación normalizada  | 33        |
|          | 3.3.2.1 <i>Descripción funcional de los sistemas</i>                                | 36        |
|          | 3.3.2.2 <i>Consideraciones, terminología e identificación</i>                       | 41        |
|          | 3.3.2.2.1 <i>Identificación por referencia compuesta</i>                            | 42        |
|          | 3.3.2.2.2 <i>Identificación alfanumérica</i>  | 47        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.3.2.2.3 | Identificación alfanumérica según norma ISO 1219-2                 | 49        |
| 3.3.2.2.4 | Identificación por numeración correlativa                          | 53        |
| 3.3.2.3   | <i>Descripción en texto</i>  | 53        |
| 3.3.2.4   | <i>Diagramas de función</i>  | 55        |
| 3.3.2.4.1 | Diagrama Espacio/Fase y Diagrama Espacio/Tiempo                    | 55        |
| 3.3.2.4.2 | Diagrama simplificado de mando                                     | 63        |
| 3.3.2.5   | <i>Grafcet, un lenguaje específico de funcionamiento</i>           | 65        |
| 3.3.2.5.1 | Introducción   | 65        |
| 3.3.2.5.2 | Descripción del método Grafcet                                     | 66        |
| 3.3.3     | Condiciones de Operatividad y de Seguridad y modos de Señalización | 77        |
| 3.3.3.1   | <i>Introducción</i>  | 77        |
| 3.3.3.2   | <i>Condiciones de Operatividad y de seguridad.</i>                 | 77        |
| 3.3.3.3   | <i>Modos de señalización</i>                                       | 82        |
| <b>4</b>  | <b>Metodología y recursos de la Investigación</b>                  | <b>87</b> |
| 4.1       | Método de Investigación  | 87        |
| 4.2       | Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático              | 90        |
| 4.2.1     | Generalidades  | 90        |
| 4.2.2     | Subsistema Operativo   | 92        |
| 4.2.3     | Subsistema de Mando  | 94        |
| 4.2.4     | Metodología de Diseño y de Desarrollo del Mando                    | 100       |
| 4.3       | Realización de Diagramas y Esquemas de montaje e instalación       | 111       |
| 4.4       | Montaje y Prueba experimentales                                    | 112       |
| 4.4.1     | Montaje y Verificación   | 112       |
| 4.4.2     | Pruebas Experimentales y Optimización                              | 116       |

|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| <b>5</b>    | <b>Caracterización teórica y experimental de los Distribuidores de Potencia</b> | <b>121</b> |
| 5.1         | Introducción  | 121        |
| 5.2         | Caracterización estática  | 122        |
| 5.3         | Caracterización dinámica  | 148        |
| 5.3.1       | La característica de conmutación  | 148        |
| 5.3.2       | Característica de control   | 162        |
| 5.3.2.1     | <i>Introducción</i>   | 162        |
| 5.3.2.2     | <i>Comportamiento biestable</i>   | 162        |
| 5.3.2.3     | <i>Modelo oleoneumático del distribuidor</i>                                    | 164        |
| <b>6</b>    | <b>Búsqueda del conocimiento mediante Técnicas Combinacionales</b>              | <b>173</b> |
| 6.1         | Introducción  | 173        |
| 6.2         | Premisas del diseño   | 174        |
| 6.3         | Análisis de Problemáticas   | 176        |
| 6.3.1       | Señales Permanentes   | 176        |
| 6.3.2       | Semejanza de Órdenes  | 185        |
| 6.4         | Método combinatorial I  | 188        |
| 6.4.1       | Desarrollo del Método   | 188        |
| 6.4.2       | Implementación y optimización   | 192        |
| 6.4.2.1     | <i>Introducción</i>   | 192        |
| 6.4.2.2     | <i>Las órdenes de mando</i>   | 192        |
| 6.4.2.3     | <i>Análisis del distribuidor de potencia empleado</i>                           | 199        |
| 6.4.2.3.1   | <i>Introducción</i>   | 199        |
| 6.4.2.3.2   | <i>Distribuidores de comportamiento monoestable</i>                             | 200        |
| 6.4.2.3.3   | <i>Distribuidores de comportamiento biestable</i>                               | 207        |
| 6.4.2.3.3.1 | <i>Soluciones sin empleo de memorias de control</i>                             | 209        |

|   |     |
|---|-----|
| 6.4.2.3.3.2 Soluciones con empleo de memorias de control  | 212 |
| 6.4.3 Resumen del Método Combinacional I  | 218 |
| 6.5 Método combinacional II   | 220 |
| 6.5.1 Introducción  | 220 |
| 6.5.2 Estudio del Método Combinacional II - caso I  | 221 |
| 6.5.3 Estudio del Método Combinacional II - caso II   | 235 |
| 6.5.4 Estudio del Método Combinacional II- caso III   | 245 |
| 6.5.5 Estudio del Método Combinacional II - caso IV   | 253 |
| 6.5.6 Minimización de algoritmo de control  | 258 |
| 6.5.6.1 Generalidades   | 258 |
| 6.5.6.2 Casos prácticos   | 260 |
| 6.5.6.2.1 Caso I  | 260 |
| 6.5.6.2.2 Caso II   | 264 |
| 6.5.7 Resumen del Método Combinacional II   | 267 |
| 6.6 Implementación de las condiciones operativas y de seguridad   | 268 |
| 6.6.1 Introducción  | 268 |
| 6.6.2 Condiciones operativas y seguridad del mando  | 269 |
| 6.6.3 Medidas de diseño inherentemente seguras  | 276 |
| 6.6.4 Criterios de prioridad para las condiciones de operación y de seguridad                                   | 278 |
| 6.6.5 Caso I: PARO con corte de energía fluídica y reseteo de memorias de control                               | 280 |
| 6.6.6 Caso II: PARO con corte de energía fluídica y mantenimiento de las memorias de control                    | 292 |
| 6.6.7 Caso III: PARO con mantenimiento de la energía fluídica y de las memorias de control                      | 298 |
| 6.6.8 Caso IV: PARO con mantenimiento de la energía fluídica y de las memorias de control con inercias elevadas | 305 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>6.7 Bloques de Función definidos</b>                                | <b>314</b> |
| 6.7.1 Introducción   | 314        |
| 6.7.2 Librería de Bloques de función general                           | 315        |
| 6.7.2.1 <i>Función Paro</i>  | 315        |
| 6.7.2.2 <i>Función Rearme</i>  | 317        |
| 6.7.2.3 <i>Control Monoestable</i>                                     | 317        |
| 6.7.2.4 <i>Control Biestable</i>                                       | 318        |
| 6.7.2.5 <i>Modo Ciclo Continúo</i>                                     | 321        |
| 6.7.3 Ejemplos prácticos   | 323        |
| 6.7.3.1 <i>Caso I</i>  | 323        |
| 6.7.3.2 <i>Caso II</i>   | 333        |
| 6.7.3.3 <i>Caso III</i>  | 345        |
| <br>   |            |
| <b>7 Búsqueda del conocimiento mediante Técnicas Secuenciales</b>      | <b>359</b> |
| 7.1 Generalidades  | 359        |
| 7.2 Sistema Secuencial mínimo  | 360        |
| 7.2.1 Introducción   | 360        |
| 7.2.2 Solución con las entradas que confirman la fase                  | 360        |
| 7.2.3 Solución con las entradas presentes al iniciarse la fase.        | 371        |
| 7.2.4 Resumen del Método Secuencial Mínimo                             | 378        |
| 7.2.5 Implementación de las condiciones de operatividad y de seguridad | 379        |
| 7.3 Método Secuencial máximo   | 393        |
| 7.3.1 Introducción   | 393        |
| 7.3.2 Solución con las entradas que confirman la fase                  | 394        |
| 7.3.3 Solución con las entradas presentes al iniciarse la fase         | 401        |
| 7.3.4 Resumen del Método Secuencial Máximo.                            | 408        |

---

|  |            |
|--|------------|
| 7.3.5 Implementación de las condiciones de operatividad y de seguridad     | 409        |
| 7.3.6 Resumen del Método Secuencial  | 423        |
| <b>8 Resumen y Conclusiones.</b>   | <b>427</b> |
| 8.1 Resumen general  | 427        |
| 8.2 Conclusiones parciales   | 435        |
| 8.3 Conclusiones finales   | 463        |
| 8.3.1 Resumen del Procedimiento de Trabajo                                 | 464        |
| 8.3.1.1 Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático              | 464        |
| 8.3.1.2 Metodología de Diseño y Desarrollo del Mando                       | 465        |
| 8.3.2 Resumen de las Metodologías Sistemáticas de diseño e implementación. | 466        |
| 8.3.2.1 Procedimiento para definir las Entradas                            | 466        |
| 8.3.2.2 Método Combinacional I   | 467        |
| 8.3.2.3 Procedimiento predefinido de Memorias de Control                   | 468        |
| 8.3.2.4 Método Combinacional II  | 469        |
| 8.3.2.5 Métodos: Secuencial Mínimo y Secuencial Máximo                     | 470        |
| 8.3.2.6 Condiciones de Operatividad y de Seguridad                         | 471        |
| 8.3.2.7 Bloques de Función definidos                                       | 476        |
| 8.3.3 Futuros desarrollos.   | 487        |
| <b>Bibliografía</b>  | <b>491</b> |
| Fuentes de información   | 491        |
| Relación bibliográfica   | 491        |
| Lista de Normas  | 505        |
| Lista de recursos Web  | 510        |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.1.1.1.- Configuración del Sistema Oleoneumático automatizado.                  | 13 |
| Figura 3.1.1.2.- Unidad de abastecimiento de energía: Bomba de engranajes externos.     | 14 |
| Figura 3.1.2.1.- Sinopsis de la Cadena de Mando.  | 17 |
| Figura 3.1.2.2.- Sinopsis de la Cadena de Mando del Sistema Oleoneumático automatizado. | 18 |
| Figura 3.2.1.- Mando de los Sistema Oleoneumáticos.                                     | 19 |
| Figura 3.2.2.1.1.- Clasificación de los Mandos.   | 20 |
| Figura 3.2.2.1.2.- Clasificación del Mando programable.                                 | 21 |
| Figura 3.2.3.1. - Mando programable del Sistema Oleoneumático.                          | 26 |
| Figura 3.2.3.2. - Mando oleoneumático en cadena abierta.                                | 27 |
| Figura 3.2.3.3. - Mando oleoneumático en cadena cerrada.                                | 28 |
| Figura 3.2.4.- Estructura general de un sistema secuencial (autómata de Mealy).         | 30 |
| Figura 3.3.2.1.1. - Plegadora industrial: croquis 1.                                    | 37 |
| Figura 3.3.2.1.2. - Plegadora industrial: croquis 2.                                    | 38 |
| Figura 3.3.2.1.3. - Plegadora industrial: Secuencia de conformado de pieza.             | 39 |
| Figura 3.3.2.1.4. - Plegadora industrial: croquis 3.                                    | 40 |
| Figura 3.3.2.2.1. - Esquema funcional por referencia compuesta de Plegadora industrial  | 46 |
| Figura 3.3.2.2.2.- Ejemplo de Identificación alfanumérica de componentes.               | 47 |
| Figura 3.3.2.2.3.1.- Ejemplo de esquematización de planta industrial según ISO 1219-2   | 51 |
| Figura 3.3.2.2.3.2. - Esquema funcional de Plegadora industrial según ISO 1219.         | 52 |
| Figura 3.3.2.3. - Ejemplo de Descripción en texto de una secuencia.                     | 54 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 3.3.2.4.1.1.- Ejemplo del Diagrama espacio-fase de actuadores lineales.                                       | 58  |
| Figura 3.3.2.4.1.2.- Ejemplo del Diagrama espacio-fase de actuadores rotativos.                                      | 60  |
| Figura 3.3.2.4.1.3.- Representaciones simplificadas de una secuencia - ejemplo 1.                                    | 61  |
| Figura 3.3.2.4.1.4.- Diagramas espacio-fase y de mando de la secuencia - ejemplo 1.                                  | 62  |
| Figura 3.3.2.4.1.5.- Diagrama espacio-fase de la secuencia A+ A+ B+- B- C+ C-  | 62  |
| Figura 3.3.2.4.1.6. - Diagrama espacio-fase y de mando de la secuencia A+ A+ B+ B- C+ C-                             | 63  |
| Figura 3.3.2.4.2.1.- Diagrama espacio-fase y de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C-  | 64  |
| Figura 3.3.2.4.2.2.- Diagrama simplificado de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C-  | 64  |
| Figura 3.3.2.5.2.1. - Comparativa Grafcet y representación simplificada: Plegadora.                                  | 75  |
| Figura 3.3.2.5.2.2. - Croquis Paletizador neumático.   | 75  |
| Figura 3.3.2.5.2.3. - Comparativa Grafcet y representación simplificada: Paletizador.                                | 76  |
| Figura 3.3.3.3. - Bucle abierto del HMI.   | 83  |
| Figura 4.1.- Diagrama de la estructura simplificada del Método de Investigación.                                     | 87  |
| Figura 4.2.1.- Flujograma de la Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático.                               | 91  |
| Figura 4.2.4.1.- Flujograma de la Metodología de Diseño y de Desarrollo del Mando.                                   | 101 |
| Figura 4.2.4.2.- Flujograma del Procedimiento de Síntesis.   | 103 |
| Figura 4.2.4.3.- Simulación online con entrenadores en Laboratorio.  | 110 |
| Figura 4.4.1.1.- Sección de Oleohidráulica del Laboratorio en la EPS de Ferrol.                                      | 114 |
| Figura 4.4.1.2.- Panel de ensayo de Electroneumática.  | 114 |
| Figura 5.2.1.- Electroválvula monoestable servopilotada 4/2 (empresa Festo).   | 132 |
| Figura 5.2.2.- Métodos de estanqueidad en distribuidores neumáticos (empresa Festo).                                 | 133 |
| Figura 5.2.3.- Electroválvula 3/2 monoestable eléctrico (empresa Bosch-Rexroth).                                     | 142 |
| Figura 5.2.4.- Estructura de electroválvulas 3/2 y 4/2 monoestable de accionamiento directo (empresa Bosch-Rexroth). | 142 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 5.2.5.- Electroválvula hidráulica de corredera 4/3 de accionamiento directo (empresa Bosch-Rexroth).  | 142 |
| Figura 5.2.6.- Estructura de electroválvula 4/3 monoestable de accionamiento directo (empresa Bosch-Rexroth).  | 143 |
| Figura 5.2.7.- Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada (empresa Bosch-Rexroth).   | 144 |
| Figura 5.2.8.- Estructura de electroválvula 4/3 monoestable servopilotada P/A/B/T (empresa Bosch-Rexroth).   | 144 |
| Figura 5.2.9.- Estructura de electroválvulas hidráulicas 4/3 de accionamientos servopilotado.  | 145 |
| Figura 5.2.10.- Elemento antirretorno y diafragma para Electroválvula 4/3 servopilotada hidráulicamente (empresa Bosch-Rexroth).                                 | 146 |
| Figura 5.2.11.- Diagrama de electroválvula hidráulicas 4/3 monoestable servopilotada por depresión.  | 146 |
| Figura 5.3.1.1.- Perfiles de los émbolos de las válvulas direccionales de corredera.   | 149 |
| Figura 5.3.1.2.- Perfiles de las válvulas de direccionales de asiento.   | 149 |
| Figura 5.3.1.3.- Ranuras de los émbolos de las válvulas direccionales de corredera.  | 150 |
| Figura 5.3.1.4.- Sobreposición en la posición de “parada” de las válvulas direccionales de corredera.  | 151 |
| Figura 5.3.1.5.- Ejemplo de sobreposición en la “conmutación” con válvula direccional de corredera 3/2 en circuito oleohidráulico con cilindro de simple efecto. | 153 |
| Figura 5.3.1.6.- Sobreposiciones en la “conmutación” del válvula direccional 4/3 biestable servopilotado.  | 154 |
| Figura 5.3.1.7.- Ejemplo de sobreposición en la “conmutación” con válvulas direccionales de asiento en circuito oleohidráulico con cilindro de doble efecto.     | 155 |
| Figura 5.3.1.8.- Diagrama carrera-tiempo de accionamiento electromagnético (fases tiempo conmutación).   | 156 |
| Figura 5.3.1.9.- Electroimán de conmutación en “fluido” en distribuidores hidráulicos.   | 157 |
| Figura 5.3.1.10. - Tornillo regulador en electroválvulas hidráulicas (empresa Bosch-Rexroth).  | 160 |
| Figura 5.3.1.11. - Placa de temporización en electroválvulas hidráulicas servopilotadas (empresa Bosch-Rexroth).   | 161 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 5.3.2.3.1. Circuito biestable neumático: entradas fluidica y electromagnéticas.  | 164 |
| Figura 5.3.2.3.2.- Modelo biestable hidráulico con entradas electromagnéticas.  | 165 |
| Figura 5.3.2.3.3.- Entrenador de modelo biestable hidráulico.   | 166 |
| Figura 5.3.2.3.4.- Modelo biestable neumático con entradas electromagnéticas.   | 167 |
| Figura 5.3.2.3.5.- Circuito eléctrico de control del Entrenador.  | 167 |
| Figura 5.3.2.3.6.- Tabla de verdad del modelo biestable de las electroválvulas.   | 170 |
| Figura 6.2.1.- Efectos de Semejanza entre dos electroválvulas 3/2 y una 5/2   | 174 |
| Figura 6.2.2.- Uso de sensores de posición en un cilindro doble efecto.   | 175 |
| Figura 6.3.1.1.- Diagrama espacio-fase y de mando de la máquina Plegadora.  | 177 |
| Figura 6.3.1.2.- Representación simplificada de la máquina Plegadora.   | 180 |
| Figura 6.3.1.3.- Representación simplificada Secuencia ejemplo 2.   | 180 |
| Figura 6.3.1.4.- Diagrama espacio-fase y de mando Secuencia ejemplo 2.  | 182 |
| Figura 6.3.1.5.- Representación simplificada Secuencia ejemplo 2 - variante 2.  | 183 |
| Figura 6.3.1.6.- Diagrama espacio-fase y de mando Secuencia ejemplo 2 - variante2.  | 184 |
| Figura 6.3.2.1.- Representación simplificada de la máquina Plegadora - variante 2.  | 185 |
| Figura 6.3.2.2.- Diagrama Espacio-Fase y de mando de la máquina Plegadora-variante 2  | 186 |
| Figura 6.4.1.1.- Procedimiento para definir las Entradas de posición del Subsistema Operativo.  | 189 |
| Figura 6.4.1.2.- Representación de las soluciones del algoritmo de funcionamiento de una secuencia ejemplo de inversión exacta.           | 191 |
| Figura 6.4.1.3.- Diagrama espacio-fase y de mando de las soluciones del algoritmo de funcionamiento de una secuencia de inversión exacta. | 191 |
| Figura 6.4.2.2.1.- Representación de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B-   | 192 |
| Figura 6.4.2.2.2.- Diagrama espacio-fase y de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B-                                       | 194 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.4.2.2.3.- Representación simplificada de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 1.   | 195 |
| Figura 6.4.2.2.4.- Diagrama espacio-fase y de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 1.  | 196 |
| Figura 6.4.2.3.2.1.- Configuración con electroválvulas monoestables 4/2 de la secuencia A+ B+ A- B-   | 200 |
| Figura 6.4.2.3.2.2.- Configuración con electroválvulas monoestables 5/2 de la secuencia A+ B+ A- B-   | 200 |
| Figura 6.4.2.3.2.3.- Estructura de la memoria de control en las electroválvulas monoestables.   | 202 |
| Figura 6.4.2.3.2.4.- Diagrama espacio-fase, de mando y de comportamiento de las bobinas de la secuencia A+ B+ A- B-   | 203 |
| Figura 6.4.2.3.2.5.- Solución mínima de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control en un circuito oleohidráulico con electroválvulas monoestables 4/2.                | 205 |
| Figura 6.4.2.3.2.6.- Solución óptima de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control en un circuito neumático con electroválvulas monoestables 5/2.                     | 205 |
| Figura 6.4.2.3.2.7.- Diagrama espacio-fase, de mando y de comportamiento de las bobinas de la secuencia A+ B+ A- B- caso mínimo con memorias de control y flancos de señal. | 206 |
| Figura 6.4.2.3.3.1.- Configuración con electroválvulas 4/2 biestables de la secuencia A+ B+ A- B-   | 207 |
| Figura 6.4.2.3.3.2.- Configuración con electroválvulas 5/2 biestables de la secuencia A+ B+ A- B-   | 208 |
| Figura 6.4.2.3.3.3.- FBD de la solución mínima del algoritmo de funcionamiento de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestables y sin memorias de control.        | 210 |
| Figura 6.4.2.3.3.4.- FBD de la solución óptima del algoritmo de funcionamiento de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestables y sin memorias de control.        | 211 |
| Figura 6.4.2.3.3.5.- Solución óptima de la secuencia A+ B+ A- B- en un circuito neumático con electroválvulas biestables 4/2 y criterio de una única memoria de control.    | 213 |
| Figura 6.4.2.3.3.6.- Dos memorias de control con estructura cruzada.  | 214 |
| Figura 6.4.2.3.3.7.- Representación de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- solución mínima.  | 215 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.4.2.3.3.8.- Solución mínima de la secuencia A+ B+ A- B- en un circuito neumático con electroválvulas 5/2 biestables y con empleo de las memorias de control.  | 216 |
| Figura 6.4.2.3.3.9.- Solución óptima de la secuencia A+ B+ A- B- en un circuito hidráulico con electroválvulas 4/2 biestables y con empleo de las memorias de control. | 217 |
| Figura 6.4.2.3.3.10.- Representación de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- solución óptima.  | 217 |
| Figura 6.4.3.1.- Flujograma del Método Combinacional I   | 218 |
| Figura 6.4.3.2.- Flujograma de Procedimiento predefinido de las Memorias de Control.   | 219 |
| Figura 6.5.2.1.-Diagrama espacio-fase de la secuencia A+ A+ B+- B- C+ C-   | 221 |
| Figura 6.5.2.2.-Diagrama de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- opción mínima.   | 222 |
| Figura 6.5.2.3.-Diagrama de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- opción óptima.   | 223 |
| Figura 6.5.2.4.-Diagrama simplificado de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- opción óptima.  | 225 |
| Figura 6.5.2.5.- Diagrama de mando de la sec. A+ A+ B+- B- C+ C- y memorias auxiliares.  | 229 |
| Figura 6.5.2.6.- Diagrama de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II.  | 230 |
| Figura 6.5.2.7.- FBD del algoritmo de funcionamiento sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II para circuito neumático con electroválvulas 5/2 biestables.       | 234 |
| Figura 6.5.3.1.- Diagrama espacio-fase sec. A+ B+ B- B+ B- A-  | 235 |
| Figura 6.5.3.2.- Diagrama de mando sec. A+ B+ B- B+ B- A-  | 236 |
| Figura 6.5.3.3.- Diagrama espacio-fase y de mando sec. A+ B+ B- B+ B- A-   | 237 |
| Figura 6.5.3.4.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 1.   | 238 |
| Figura 6.5.3.5.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 2.   | 239 |
| Figura 6.5.3.6.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 3  | 242 |
| Figura 6.5.3.7.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 4.   | 243 |
| Figura 6.5.4.1.- Diagrama espacio-fase sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A-   | 245 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.5.4.2.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 1.         | 246 |
| Figura 6.5.4.3.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 2.         | 248 |
| Figura 6.5.4.4.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 3.         | 249 |
| Figura 6.5.4.5.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 4.         | 250 |
| Figura 6.5.4.6.- FBD de memorias sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 4.               | 251 |
| Figura 6.5.4.7.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 5.         | 252 |
| Figura 6.5.4.8.- FBD de memorias de la sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 5.         | 252 |
| Figura 6.5.5.1.- Diagrama espacio-fase sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B-                        | 254 |
| Figura 6.5.5.2.- Diagrama simplificado sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 1.           | 255 |
| Figura 6.5.5.3.- FBD de memorias sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 1.                 | 255 |
| Figura 6.5.5.4.- Diagrama simplificado sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 2.           | 256 |
| Figura 6.5.5.5.- FBD de memorias sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 2.                 | 256 |
| Figura 6.5.5.6.- Diagrama simplificado sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 3.           | 257 |
| Figura 6.5.5.7.- FBD de memorias sec. A+ B+ A- A- B- A+ B+ A-B- propuesta 3.            | 257 |
| Figura 6.5.6.2.1.1. - Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- minimizada opción 1. | 261 |
| Figura 6.5.6.2.1.2.- FBD comparativo de memoria sec. A+ A- B+ B- C+ C- opción 1.        | 262 |
| Figura 6.5.6.2.1.3. - Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- minimizado opción 2. | 263 |
| Figura 6.5.6.2.1.4.- FBD comparativo de memoria sec. A+ A- B+ B- C+ C- opción 2.        | 263 |
| Figura 6.5.6.2.2.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- minimizada.      | 264 |
| Figura 6.5.6.2.2.2.- FBD comparativo de memoria de sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A-          | 265 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.5.6.2.2.3.- FBD comparativo de memoria sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A-             | 266 |
| Figura 6.5.7.- Flujograma del Método Combinacional II                                   | 267 |
| Figura 6.6.5.1.- Diagrama simplificado Caso I   | 280 |
| Figura 6.6.5.2.- Esquema funcional del sistema electroneumático - Caso I                | 281 |
| Figura 6.6.5.3.- Esquema funcional del sistema electrohidráulico - Caso I               | 283 |
| Figura 6.6.5.4.- FBD Caso I: Condición de Paro.   | 285 |
| Figura 6.6.5.5.- FBD Caso I: Condición de Paro con condición de seguridad.              | 285 |
| Figura 6.6.5.6.- FBD Caso I: Condición de Rearme opción 1.                              | 286 |
| Figura 6.6.5.7.- FBD Caso I: Condición de Rearme opción 2.                              | 286 |
| Figura 6.6.5.8.- FBD Caso I: Activación / desactivación de energía fluidica.            | 287 |
| Figura 6.6.5.9.- FBD Caso I: memoria auxiliar opción 1.                                 | 288 |
| Figura 6.6.5.10.- FBD Caso I: memoria auxiliar opción 2.                                | 288 |
| Figura 6.6.5.11.- FBD Caso I: memoria auxiliar opción 3.                                | 288 |
| Figura 6.6.5.12.- FBD Caso I: mando actuador A opción 1.                                | 289 |
| Figura 6.6.5.13.- FBD Caso I: mando actuador A opción 2.                                | 289 |
| Figura 6.6.5.14.- FBD Caso I: mando actuador A opción 3.                                | 291 |
| Figura 6.6.5.15.- FBD Caso I: mando actuador B.   | 291 |
| Figura 6.6.6.1.- Diagrama simplificado Caso II  | 293 |
| Figura 6.6.6.2.- FBD Caso II: Memoria auxiliar.   | 293 |
| Figura 6.6.6.3.- FBD Caso II: FBD Caso II: Paro y Corte/Activación energía - variante 1 | 294 |
| Figura 6.6.6.4.- FBD Caso II: Paro y Corte/Activación energía - variante 2              | 294 |
| Figura 6.6.6.5.- FBD Caso II: Rearme  | 294 |
| Figura 6.6.6.6.- FBD Caso II: Distribuidores A y B                                      | 295 |
| Figura 6.6.6.7.- FBD Caso II: Distribuidor A variante 2                                 | 295 |
| Figura 6.6.7.1.- Diagrama simplificado Caso III   | 298 |
| Figura 6.6.7.2.- Esquema funcional del sistema electroneumático opción 1 - Caso III     | 300 |
| Figura 6.6.7.3.- Esquema funcional del sistema electroneumático opción 2 - Caso III     | 301 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.6.7.4.- Esquema funcional del sistema electrohidráulico - Caso III.                    | 302 |
| Figura 6.6.7.5.- FBD caso III: parte 1.   | 303 |
| Figura 6.6.7.6.- FBD caso III: Distribuidor A opción 1.   | 304 |
| Figura 6.6.7.7.- FBD caso III: Distribuidor A opción 2.   | 304 |
| Figura 6.6.7.8.- FBD caso III: Distribuidor B.  | 305 |
| Figura 6.6.8.1.- Válvula compacta regulación caudal y antirretorno desbloqueable.               | 307 |
| Figura 6.6.8.2.- Esquema funcional del sistema electroneumático opción 1 - Caso IV.             | 308 |
| Figura 6.6.8.3.- Esquema funcional del sistema electroneumático opción 1 - Caso IV.             | 309 |
| Figura 6.6.8.4.- Esquema funcional del sistema electrohidráulico- Caso IV.                      | 310 |
| Figura 6.6.8.5.- Croquis de funcionamiento de la válvula de freno.                              | 311 |
| Figura 6.6.8.6.- FBD Caso IV : Distribuidores A y B.  | 313 |
| Figura 6.7.2.1.1.- Bloque de Paro 1.  | 315 |
| Figura 6.7.2.1.2.- Bloque de Paro 1 múltiple.   | 315 |
| Figura 6.7.2.1.3.- Bloque de Paro 2.  | 316 |
| Figura 6.7.2.1.4.- Bloque de Paro 2 múltiple.   | 316 |
| Figura 6.7.2.2.1- Bloque de Rearme.   | 317 |
| Figura 6.7.2.3.1.- Bloque Monoestable 1.  | 317 |
| Figura 6.7.2.3.2.- Bloque Monoestable 2.  | 318 |
| Figura 6.7.2.3.3.- Bloque Monoestable 2 múltiple.   | 318 |
| Figura 6.7.2.4.1.- Bloque Biestable 1.  | 319 |
| Figura 6.7.2.4.2.- Bloque Biestable 1 múltiple.   | 319 |
| Figura 6.7.2.4.3.- Bloque Biestable 2.  | 320 |
| Figura 6.7.2.4.4.- Bloque Biestable 2 múltiple.   | 320 |
| Figura 6.7.2.4.5.- Bloque Biestable 3.  | 321 |
| Figura 6.7.2.5.1.- Bloque definido N° Ciclos.   | 322 |
| Figura 6.7.3.1.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C-                                 | 323 |
| Figura 6.7.3.1.2.- Circuito funcional del sistema electrohidráulico - caso I Bloques de Función | 324 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.7.3.1.3.- Circuito funcional del sistema electroneumático - caso I Bloques de Función.   | 325 |
| Figura 6.7.3.1.4.- FBD Paro opción 1 - Caso I.  | 327 |
| Figura 6.7.3.1.5.- Bloque Paro 2 - Caso I.  | 327 |
| Figura 6.7.3.1.6.-Bloque definido de Paro opción 1 - Caso I.                                      | 328 |
| Figura 6.7.3.1.7.- FBD Paro opción 2 - Caso I.  | 328 |
| Figura 6.7.3.1.8.-Bloque Paro 2 múltiple - Caso I.  | 328 |
| Figura 6.7.3.1.9.- Bloque definido de Paro opción 2- Caso I.                                      | 329 |
| Figura 6.7.3.1.10.- FBD Rearme -Caso I.   | 329 |
| Figura 6.7.3.1.11.- Bloque Reame - Caso I.  | 329 |
| Figura 6.7.3.1.12.- Bloque definido de Rearme - Caso I.   | 330 |
| Figura 6.7.3.1.13.- FBD/Bloque memorias auxiliares Caso I.  | 330 |
| Figura 6.7.3.1.14.- FBD Control distribuidores - Caso I.  | 331 |
| Figura 6.7.3.1.15.- Bloque Monoestable 1- Caso I.   | 331 |
| Figura 6.7.3.1.16.- Bloque Monoestable 2- Caso I.   | 332 |
| Figura 6.7.3.1.17.- Bloques definidos de distribuidores - Caso I.                                 | 332 |
| Figura 6.7.3.2.1- Diagrama simplificado sec. A+ B+ A- B- A+B+ A- B-                               | 333 |
| Figura 6.7.3.2.2.- Circuito funcional del sistema electroneumático - caso II Bloques de Función.  | 334 |
| Figura 6.7.3.2.3.- Circuito funcional del sistema electrohidráulico - caso II Bloques de Función. | 335 |
| Figura 6.7.3.2.4.- FBD Paro - Caso II.  | 337 |
| Figura 6.7.3.2.5.- Bloque Paro 1 múltiple - Caso II.  | 337 |
| Figura 6.7.3.2.6.-Bloque definido de Paro - Caso II.  | 338 |
| Figura 6.7.3.2.7.- FBD Rearme - Caso II.  | 338 |
| Figura 6.7.3.2.8.- Bloque Reame - Caso II.  | 338 |
| Figura 6.7.3.2.9.- Bloque definido de Rearme - Caso II.   | 339 |
| Figura 6.7.3.2.10.- FBD/Bloque memorias auxiliares - Caso II.                                     | 339 |
| Figura 6.7.3.2.11.- FBD del modo Ciclo Continuo - Caso II.  | 340 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 6.7.3.2.12.- Bloque N° Ciclos - caso II.  | 340 |
| Figura 6.7.3.2.13.- Bloque definido de modo Ciclo Continuo - Caso II.                                      | 341 |
| Figura 6.7.3.2.14.- FBD Control distribuidores - Caso II.  | 342 |
| Figura 6.7.3.2.15- Bloque Monoestable 1 - caso II.   | 343 |
| Figura 6.7.3.2.16.- Bloque Monoestable 2 múltiple - caso II.   | 343 |
| Figura 6.7.3.2.17.- Bloque Biestable 2 múltiple - caso II.   | 343 |
| Figura 6.7.3.2.18.-Bloque definido de distribuidores - Caso II.  | 344 |
| Figura 6.7.3.3.1.- Diagrama simplificado de la sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A-                                 | 345 |
| Figura 6.7.3.3.2.- Circuito funcional del sistema electroneumático opción 1 - caso III Bloques de Función. | 347 |
| Figura 6.7.3.3.3.- Circuito funcional del sistema electroneumático opción 2 - caso III Bloques de Función. | 348 |
| Figura 6.7.3.3.4.- Circuito funcional del sistema electrohidráulico - caso III Bloques de Función.         | 348 |
| Figura 6.7.3.3.5.- FBD Paro - Caso III.  | 349 |
| Figura 6.7.3.3.6.- Bloque Paro 1 múltiple - Caso III.  | 349 |
| Figura 6.7.3.3.7.-Bloque definido de Paro - Caso III.  | 350 |
| Figura 6.7.3.3.8.- FBD Rearme -Caso III.   | 350 |
| Figura 6.7.3.3.9.- Bloque Reame - Caso III.  | 350 |
| Figura 6.7.3.3.10.- Bloque definido de Rearme - Caso III.  | 351 |
| Figura 6.7.3.3.11.- FBD/Bloque memorias auxiliares Caso III.   | 351 |
| Figura 6.7.3.3.12.- FBD distribuidora A- Caso III.   | 352 |
| Figura 6.7.3.3.13.- Bloque Biestable múltiple 1- Caso III.   | 352 |
| Figura 6.7.3.3.14.- Bloque definido distribuidor A - Caso III.   | 353 |
| Figura 6.7.3.3.15.- FBD distribuidora B opción 1 - Caso III.   | 353 |
| Figura 6.7.3.3.16.- Bloque Biestable 2 - Caso III.   | 354 |
| Figura 6.7.3.3.17.- Bloque definido distribuidor B opción 1 - Caso III.                                    | 354 |
| Figura 6.7.3.3.18.- FBD distribuidora B opción 2- Caso III.  | 355 |
| Figura 6.7.3.3.19.- Bloque Biestable 3 - Caso III.   | 355 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 6.7.3.3.20.-Bloque definido distribuidor B opción 2 - Caso III.  | 356 |
| Figura 7.2.1.1.- Diagrama espacio-fase y de mando sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución Secuencial mínima.  | 361 |
| Figura 7.2.1.2.- División en grupos de la representación en texto (secuencial mínimo).  | 363 |
| Figura 7.2.1.3.- Representación en texto del sistema secuencial mínimo.   | 363 |
| Figura 7.2.1.4.- Representación en texto del sistema secuencial mínimo para implementación.   | 364 |
| Figura 7.2.1.5.- Solución secuencial mínima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 - opción 1.                          | 365 |
| Figura 7.2.1.6.- Solución secuencial mínima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 - opción 2.                          | 366 |
| Figura 7.2.1.7.- Solución secuencial mínima hidráulica de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 4/2 - opción 2.                         | 367 |
| Figura 7.2.1.8.- Solución secuencial mínima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas biestables 5/2 - opción 3 (sin memorias de control).  | 368 |
| Figura 7.2.1.9.- Solución secuencial mínima hidráulica de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas 4/2 monoestables opción 3 (sin memorias de control). | 369 |
| Figura 7.2.3.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C-   | 372 |
| Figura 7.2.3.2- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima sin minimizar   | 373 |
| Figura 7.2.3.3- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 1.  | 374 |
| Figura 7.2.3.4- FBD de memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 1.  | 375 |
| Figura 7.2.3.5- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 2.  | 376 |
| Figura 7.2.3.6- FBD de memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 2.  | 377 |
| Figura 7.2.4. - Flujograma del Método Secuencial Mínimo.  | 378 |
| Figura 7.2.5.1.- FBD Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.  | 381 |
| Figura 7.2.5.2.- Bloque Paro 2 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.   | 381 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 7.2.5.3.- Bloque definido de Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.                                  | 381 |
| Figura 7.2.5.4.- FBD Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.   | 382 |
| Figura 7.2.5.5.- Bloque Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.  | 382 |
| Figura 7.2.5.6.- Bloque definido de Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial mínima.                                    | 382 |
| Figura 7.2.5.7.- FBD memorias auxiliares - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.                                  | 383 |
| Figura 7.2.5.8.- Bloque CADENA1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.   | 384 |
| Figura 7.2.5.9.- Bloque CADENA2 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.   | 385 |
| Figura 7.2.5.10.- Bloque CADENA3 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.  | 385 |
| Figura 7.2.5.11.- Bloque definido de memorias auxiliares opción 1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.         | 386 |
| Figura 7.2.5.12- Bloque Secuencial sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.  | 387 |
| Figura 7.2.5.13- Bloque definido de memorias auxiliares opción 2- sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.           | 389 |
| Figura 7.2.5.14.- FBD distribuidores de potencia - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.                          | 390 |
| Figura 7.2.5.15.-Bloque Monoestable 2 - solución secuencial mínima.  | 391 |
| Figura 7.2.5.16.-Bloque Monoestable 1 - solución secuencial mínima.  | 391 |
| Figura 7.2.5.17.-Bloque definido distribuidores - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.                           | 392 |
| Figura 7.3.2.1.- Diagrama espacio-fase y de mando de la sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución Secuencial máxima.                     | 395 |
| Figura 7.3.2.2.- División en grupos de la representación en texto (secuencial máximo).   | 396 |
| Figura 7.3.2.3.- Representación en texto del sistema secuencial máximo.  | 396 |
| Figura 7.3.2.4.- Solución secuencial máxima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 opción 1. | 398 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 7.3.2.5.- Solución secuencial máxima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 opción 2. | 399 |
| Figura 7.3.3.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C-  | 401 |
| Figura 7.3.3.2.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima sin minimizar.                        | 403 |
| Figura 7.3.3.3.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 1.                                 | 404 |
| Figura 7.3.3.4.- FBD de memorias de la sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 1.                                 | 405 |
| Figura 7.3.3.5.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 2.                                 | 406 |
| Figura 7.3.3.6.- FBD de memorias de la sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 2.                                 | 407 |
| Figura 7.3.4.- Flujograma del Método Secuencial Máximo.  | 408 |
| Figura 7.3.5.1.- FBD Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.   | 411 |
| Figura 7.3.5.2.- Bloque Paro 3 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.  | 411 |
| Figura 7.3.5.3.- Bloque definido de Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.                                  | 411 |
| Figura 7.3.5.4.- FBD Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.   | 412 |
| Figura 7.3.5.5.- Bloque Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.  | 412 |
| Figura 7.3.5.6.- Bloque definido de Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima.                                    | 412 |
| Figura 7.3.5.7.- FBD memorias auxiliares - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.                                  | 413 |
| Figura 7.3.5.8.- Bloque CADENA1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.   | 414 |
| Figura 7.3.5.9.- Bloque CADENA2 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.   | 414 |
| Figura 7.3.5.10.- Bloque CADENA3 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.  | 414 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 7.3.5.11.- Bloque definido de memorias auxiliares opción 1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima. | 415 |
| Figura 7.3.5.12.- Bloque Secuencial - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.                               | 416 |
| Figura 7.3.5.13.- Bloque definido de memorias auxiliares opción 2 - solución secuencial máxima.                        | 417 |
| Figura 7.3.5.14.- FBD distribuidores de potencia - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.                  | 418 |
| Figura 7.3.5.15.-Bloque Monoestable 2 - solución Secuencial máxima.  | 419 |
| Figura 7.3.5.16.-Bloque definido distribuidores - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.                   | 420 |
| Figura 7.3.5.17.- Circuito funcional del sistema electrohidráulico - solución secuencial.                              | 421 |
| Figura 7.3.5.18.- Circuito funcional del sistema electroneumático - solución secuencial.                               | 422 |
| Figura 7.3.6.- Flujograma del Método Secuencial.   | 423 |
| Figura 8.3.1.1.- Flujograma de la Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático.                               | 464 |
| Figura 8.3.1.2.- Flujograma de la Metodología de Diseño y de Desarrollo del Mando.                                     | 465 |
| Figura 8.3.2.1.- Procedimiento para definir las Entradas de posición del Subsistema Operativo.                         | 466 |
| Figura 8.3.2.2.- Flujograma del Método Combinacional I.  | 467 |
| Figura 8.3.2.3.- Flujograma del Procedimiento predefinido de las Memorias de Control.                                  | 468 |
| Figura 8.3.2.4.- Flujograma del Método Combinacional II.   | 469 |
| Figura 8.3.2.5.- Flujograma del Método Secuencial Mínimo y Máximo.   | 470 |
| Figura 8.3.2.6.1.- Caso I: Paro con corte de energía fluidica y reseteo de las memorias de control.                    | 471 |
| Figura 8.3.2.6.2.- Caso II: Paro con corte de energía fluidica y mantenimiento de las memorias de control.             | 472 |
| Figura 8.3.2.6.3.- Caso III: Paro con mantenimiento de energía fluidica y memorias de control.                         | 473 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 8.3.2.6.4.- Caso IV: Paro con mantenimiento de energía fluídica y memorias de control con inercias elevadas - Electroneumática.  | 474 |
| Figura 8.3.2.6.5.- Caso IV: Paro con mantenimiento de energía fluídica y memorias de control con inercias elevadas - Electrohidráulica. | 475 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 3.1.1.1.- Composición de la Unidad de abastecimiento de energía.                  | 15 |
| Tabla 3.1.1.2.- Composición del Subsistema de Mando o Control.                          | 16 |
| Tabla 3.2.2.2.1.- Clasificación del Mando dependiendo de la tipología de la señal.      | 23 |
| Tabla 3.2.2.2.2.- Características de la tipología de la señal.                          | 23 |
| Tabla 3.2.3.- Aspectos a valorar para mandar o regular.                                 | 28 |
| Tabla 3.2.4.1.- Diferencias esenciales entre sistemas combinacionales y secuenciales.   | 30 |
| Tabla 3.2.4.2.- Lenguajes programación para PLC´s según IEC 1131-3.                     | 31 |
| Tabla 3.3.2.2.1.1.- Referencia compuesta: Numeración de grupos.                         | 43 |
| Tabla 3.3.2.2.1.2.- Referencia compuesta: Numeración de componentes.                    | 43 |
| Tabla 3.3.2.2.1.3.- Identificación por referencia compuesta de la Plegadora industrial. | 44 |
| Tabla 3.3.2.2.2.- Resumen de símbolos de la Identificación alfanumérica.                | 49 |
| Tabla 3.4.2.2.3.- Resumen de nomenclatura de la Identificación alfanumérica ISO1219-2.  | 50 |
| Tabla 3.3.2.4.2.1.- Representación de los elementos de señalización.                    | 61 |
| Tabla 3.3.2.5.2.1.- Símbolos del Grafcet: Etapas.                                       | 68 |
| Tabla 3.3.2.5.2.2.- Símbolos del Grafcet: Transición.                                   | 70 |
| Tabla 3.3.2.5.2.3.- Símbolos del Grafcet: Receptividad.                                 | 71 |
| Tabla 3.3.2.5.2.4.- Símbolos del Grafcet: Acciones.                                     | 72 |
| Tabla 3.4.2.5.2.5. - Símbolos del Grafcet: Enlace.                                      | 73 |
| Tabla 3.3.3.2.1.- Categorías en la Condición de parada.                                 | 78 |
| Tabla 3.3.3.2.2.- Modos de operación.   | 81 |
| Tabla 4.1.- Etapas del Método de Investigación.   | 88 |
| Tabla 4.2.2.1.- Características a valorar de los elementos del subsistema operativo.    | 93 |
| Tabla 4.2.2.2.- Pasos para definir el subsistema operativo.                             | 94 |
| Tabla 4.2.3.1.- Comparación de controladores digitales (lógica a medida) y PLC´s.       | 96 |
| Tabla 4.2.3.2.- Comparación de sistemas cableados y PLC´s.                              | 97 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 4.2.3.3.- Selección del proceso de medición.  | 98  |
| Tabla 4.2.4.1.- Ventajas del diseño descendente ("Top-down").   | 105 |
| Tabla 4.2.4.2.- Plan de Verificación manual del Procedimiento de Síntesis.  | 107 |
| Tabla 4.2.4.3.- Guía de buenas prácticas para la fase de prueba y depuración.                                       | 110 |
| Tabla 4.3.- Referencia de buenas prácticas para la confección de esquemas y diagramas.                              | 111 |
| Tabla 4.4.1.1.- Dotación básica del Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la EPS de Ferrol.                      | 113 |
| Tabla 4.4.1.2.- Pasos para el montaje y su verificación.  | 115 |
| Tabla 4.4.2.1- Procedimiento para las Pruebas experimentales.   | 116 |
| Tabla 4.4.2.2. - Variables de Optimización.   | 118 |
| Tabla 5.2.1.- Designación de los Distribuidores de Potencia según ISO 1219.   | 123 |
| Tabla 5.2.2.- Designación normalizada de conexiones.  | 125 |
| Tabla 5.2.3.- Medios de accionamiento de los Distribuidores de Potencia según ISO 1219                              | 126 |
| Tabla 5.2.4.- Electroválvulas neumáticas.   | 129 |
| Tabla 5.2.5.- Electroválvulas hidráulica.s  | 134 |
| Tabla 5.2.6.- Criterios de selección y uso de la posición central de las electroválvulas 4/3 y 5/3.                 | 139 |
| Tabla 5.3.1.1.- Sobreposiciones habituales en la "conmutación" de la fig. 5.3.1.7.                                  | 155 |
| Tabla 5.3.1.2.- Tiempo de conmutación y reposición electroválvulas hidráulicas de hasta TN10                        | 158 |
| Tabla 5.3.1.3.- Tiempo de conmutación y reposición electroválvulas hidráulicas servopilotadas.                      | 159 |
| Tabla 5.3.2.2.- Tabla de verdad y diagrama lógico del biestable R-S.  | 163 |
| Tabla 6.2.1.- Análisis de la Semejanza entre dos electroválvula 3/2 y una 5/2.                                      | 175 |
| Tabla 6.4.2.2.1.- Ordenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B-                                  | 193 |
| Tabla 6.4.2.2.2.- Ordenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 1. | 197 |
| Tabla 6.4.2.2.3.- Ordenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 2. | 198 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 6.4.2.3.2.1.- Ordenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control.   | 204 |
| Tabla 6.4.2.3.2.2.- Ordenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control y flancos de señal.                                      | 207 |
| Tabla 6.4.2.3.3.1.1. - Ordenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestable y sin memorias de control.                      | 209 |
| Tabla 6.4.2.3.3.1.2. - Ordenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestable sin memorias de control y con flancos de señal. | 210 |
| Tabla 6.5.2.1.-Ordenes de mando secuencia A+ A+ B+- B- C+ C- opción óptima.   | 226 |
| Tabla 6.5.2.2.- Ordenes de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II con memorias de control.   | 228 |
| Tabla 6.5.2.3.- Ordenes de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II.   | 231 |
| Tabla 6.5.2.4.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II.  | 231 |
| Tabla 6.5.3.1.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 1.   | 238 |
| Tabla 6.5.3.2.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 2.   | 241 |
| Tabla 6.5.3.3.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 3.   | 242 |
| Tabla 6.5.3.4.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 4.   | 243 |
| Tabla 6.5.4.1.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 1.  | 247 |
| Tabla 6.5.4.2.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 2.  | 248 |
| Tabla 6.5.4.3.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 3.  | 249 |
| Tabla 6.6.5.1.- Entradas Caso I.  | 280 |
| Tabla 6.6.5.2.- Salidas Caso I.   | 280 |
| Tabla 6.6.5.3.- Memorias Caso I.  | 281 |
| Tabla 6.6.7.1.- Entradas Caso III.  | 299 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 6.6.7.2.- Salidas Caso III.   | 299 |
| Tabla 6.6.7.3.- Memorias Caso III.  | 299 |
| Tabla 6.6.8.1.- Entradas Caso IV.   | 306 |
| Tabla 6.6.8.2.- Salidas Caso IV.  | 306 |
| Tabla 6.6.8.3.- Memorias Caso IV.   | 306 |
| Tabla 6.7.3.1.1.- Entradas Caso I - Bloques de Función.                     | 325 |
| Tabla 6.7.3.1.2.- Salidas Caso I - Bloques de Función.                      | 326 |
| Tabla 6.7.3.1.3.- Memorias Caso I - Bloques de Función.                     | 326 |
| Tabla 6.7.3.2.1.- Entradas Caso II - Bloques de Función.                    | 336 |
| Tabla 6.7.3.2.2.- Salidas Caso II - Bloques de Función.                     | 336 |
| Tabla 6.7.3.2.3.- Memorias Caso II - Bloques de Función.                    | 336 |
| Tabla 6.7.3.3.1.- Entradas Caso III - Bloques de Función.                   | 346 |
| Tabla 6.7.3.3.2.- Salidas Caso III - Bloques de Función.                    | 346 |
| Tabla 6.7.3.3.3.- Memorias Caso III - Bloques de Función.                   | 346 |
| Tabla 7.2.5.1.- Entradas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima. | 379 |
| Tabla 7.2.5.2.- Salidas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.  | 380 |
| Tabla 7.2.5.3.- Memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima. | 380 |
| Tabla 7.3.5.1.- Entradas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima. | 409 |
| Tabla 7.3.5.2.- Salidas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.  | 410 |
| Tabla 7.3.5.3.- Memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima. | 410 |
| Tabla 8.2.1.- Resumen Sobreposición en la conmutación.                      | 437 |
| Tabla 8.2.2.- Modelo biestable fluídico y tabla de verdad.                  | 438 |
| Tabla 8.2.3.- Modos de Operación.   | 447 |
| Tabla 8.3.2.7.1.- Bloques de Función definidos: Paro.                       | 476 |
| Tabla 8.3.2.7.2.- Bloques de Función definidos: Rearme y Ciclo Continuo.    | 478 |
| Tabla 8.3.2.7.3.- Bloques de Función definidos: Control Monoestable.        | 479 |
| Tabla 8.3.2.7.4.- Bloques de Función definidos: Control Biestable.          | 480 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 8.3.2.7.5.- Bloques de Función definidos: Control Secuencial- Bloques de cadena              | 482 |
| Tabla 8.3.2.7.6.- Bloques de Función definidos: Control Secuencial- Bloque secuencial              | 483 |
| Tabla 8.3.2.7.7- Bloques de Función definidos: Control Secuencial- control monoestable y biestable | 485 |



**Fe de erratas:**





# 1. Introducción



## 1 Introducción

En el sector de la Oleoneumática se observa como la tecnología de los componentes ha evolucionado siguiendo las exigencias de los usuarios finales hacia un camino marcado por la integración de la electrónica y la informática, por la miniaturización y los nuevos materiales. No obstante, las fases de diseño, desarrollo y optimización de los sistemas oleoneumáticos, tanto estáticos como móviles y en aplicaciones tanto terrestres como navales, se centran en procedimientos intuitivos y en algunas metodologías basadas en la identificación manual y posterior eliminación de las señales antagónicas que se obtienen de los captadores de información del estado del sistema. Ambas metodologías están limitadas por la complejidad y tamaño del sistema, por requerir modificaciones y ajustes continuos hasta su implementación definitiva, y por no tener un carácter universal e independiente, lo cual limita la eficacia del sistema desarrollado.

La introducción masiva de las técnicas digitales en la tecnología fluídica de potencia así como los sistemas de control digital programables, como los PLC's, han modificado la forma en que se gobiernan y comunican sus diferentes elementos. Esta integración de tecnologías, tanto de componentes como de diseño, construcción y mantenimiento, ofrece al usuario la oportunidad de disponer de un control avanzado, una considerable flexibilidad y una alta capacidad de diagnóstico facilitando el desarrollo y aplicación de métodos para el diseño y control de los circuitos Oleoneumáticos. Como consecuencia, por un lado, se abre la puerta a la aparición de métodos de diseño sistemáticos, más racionales, que puedan aplicarse a sistemas complejos sin precisar de ajustes para su desarrollo e implementación, salvo los necesarios para su puesta en funcionamiento y, por otro, sería posible que la metodología empleada permitiera interpretar, de manera abierta y transparente, su resultado. Es decir, el diseño podría

mejorarse en un proceso continuo en base a criterios previamente establecidos. Esto permitiría a los ingenieros o a cualquier otro personal técnico cualificado, trabajar de manera más eficaz y eficiente, mejorando el diseño y la construcción de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, y optimizando su mantenimiento mediante la localización de las averías en el menor tiempo posible.

En resumen, la eficiencia y la productividad son factores críticos de éxito para la industria actual. En este contexto, la ingeniería de diseño juega un papel central: *“el sistema electrohidráulico y electroneumático eficiente comienza con una ingeniería de diseño eficiente”*. Esta ingeniería de diseño debe ser la palanca para superar la continua y creciente complejidad de las máquinas y equipos. A todo ello, hay que sumar la protección confiable que el diseño debe disponer en seguridad humana, de la máquina y medioambiental.

Por todo lo explicado, basado en la observación realizada hasta la fecha de las tendencias presentes en los sectores oleohidráulico y neumático, el objetivo final de esta Tesis es sumamente ambicioso. Analizar, optimizar y mejorar son términos que requieren de un gran esfuerzo de comprensión y síntesis para adquirir la experiencia necesaria que permita discernir cuando una propuesta de mejora realmente lo es, y no sólo porque el autor lo considere así, si no por el impacto que ésta suponga en el sistema sobre el que actúa. De la misma manera, implementar una metodología sistemática de carácter universal que permita el diseño y desarrollo de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos de manera más eficiente supone el corolario definitivo a dicho esfuerzo de comprensión y síntesis, dada la diversidad de alternativas y diseños existentes en la actualidad para las que hasta ahora no se ha encontrado en la literatura ninguna solución o propuesta de solución lo bastante solvente.

## 2. Objetivos y Desarrollo de la Tesis



## 2 Objetivos y Desarrollo de la Tesis

La labor de investigación realizada en esta Tesis no surge a partir de la formulación de una hipótesis sino de la necesidad industrial de resolver el diseño y la implementación de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos de manera eficiente y segura. Por un lado, las características y las peculiaridades de la tecnología fluídica de potencia así como sus riesgos inherentes, tanto humanos como materiales, originados por un diseño incorrecto hacen que no sólo sea suficiente el conocimiento de la tecnología de la automatización para resolver su diseño y su control. Por otro lado, la integración de tecnología digital ofrece al usuario la oportunidad de disponer de un control avanzado, una considerable flexibilidad y una alta capacidad de diagnóstico.

Esta Tesis Doctoral tiene por objetivos:

1. Investigar en los criterios y procedimientos de diseño a la hora de proyectar los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos desarrollados con controladores digitales programables que optimice el binomio eficacia-simplicidad de las soluciones, sin omitir la seguridad humana y del sistema;
2. Desarrollar metodologías sistemáticas de carácter universal que permitan el diseño e implementación de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos industriales de la manera más eficiente y segura.

Este trabajo de investigación se desarrolla en tres partes conexas y dependientes:

1. En una primera fase exploratoria se estudian fundamentos y funciones de los distintos componentes, recursos y estándares, tanto de la tecnología fluídica de potencia como de la automatización, que puedan ser aplicados a la labor de diseño de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos industriales. En esta etapa se pretende, por un lado, captar e integrar los componentes más

adecuados y, por otro, encontrar las herramientas de trabajo y análisis que posteriormente sirvan para desarrollar los métodos sistemáticos.

2. En una segunda etapa, se investigará en soluciones con lógica combinacional para el mando en conjunción con la implementación del circuito fluídico de potencia. En esta fase, de un lado, se estudian las problemáticas y aspectos relevantes del diseño y, de otro, se desarrolla y analizan diferentes técnicas y soluciones. Esta etapa debe concluir con la proposición de procedimientos y metodologías sistemáticas y de casos estandarizados que permitan resolver el diseño de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos menos complejos que precisen de una solución de operatividad de control simple, segura y económica.
3. En una tercera etapa se investigará en soluciones con lógica secuencial en unión al circuito fluídico de potencia. Se usarán los conocimientos estudiados y las conclusiones obtenidas de las fases anteriores. La finalidad de esta tercera etapa es enfrentarse al problema del diseño e implementación de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos más complejos. La meta es definir las metodologías que permitan construir sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos de forma sistemática y rápida, protegidos contra influencias adversas que pudieran producirse, independientemente de su complejidad.

Estas dos últimas fases se apoyan y se consolidan en una experimentación llevada a cabo con sistemas electroneumáticos e electrohidráulicos industriales controlados mediante autómatas programables industriales (ó PLC) de última generación. Esta labor de experimentación se sustenta en:

1. Los resultados y la experiencia obtenida del diseño y desarrollo de más de medio centenar de sistemas oleoneumáticos industriales realizados o coordinados por el autor de este trabajo.



2. Los ensayos y simulaciones realizadas en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol de manera explícita para este trabajo de Tesis.
3. En la “retroalimentación” obtenida por el autor de esta tesis en la colaboración con diversas empresas y oficinas técnicas en el sector de la tecnología oleohidráulica, neumática y de los automatismo de control.

Por último conviene indicar, y no es menos relevante, que en esta Tesis se ha definido un procedimiento de trabajo adaptado a los requerimientos específicos de las tecnologías implicadas. Este permite, no sólo precisar y estructurar formalmente el proceso de investigación, sino disponer de una forma de proyectar los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos para alcanzar el rendimiento máximo y fructífero en la ingeniería de diseño a realizar. Algo trascendental para competir en la globalización económica actual: “el procedimiento no sólo debe permite resolver problemas, sino también abrir nuevas oportunidades de diseño al satisfacer los requisitos más exigentes con rapidez y seguridad”.



### 3. Estado del Arte



### 3 Estado del Arte

#### 3.1 Configuración del Sistema Oleoneumático Automatizado.

##### 3.1.1 Estructura

Todo sistema oleoneumático automatizado se puede estructurar en dos partes perfectamente diferenciadas e interrelacionadas entre sí:

- *Subsistema operativo o de potencia:* incluye todos los mecanismos y elementos de potencia del sistema que desarrollan las actividades y tareas encomendadas, y que podrá generar informaciones y datos a la parte mando.
- *Subsistema de mando o control*<sup>1</sup>. Integran dispositivos y elementos de tratamiento de información y elaboración de señales. Es el cerebro del sistema oleoneumático, el cual, en función de las consignas establecidas por el operador, de las entradas recibidas del sistema y del programa de funcionamiento elabora las ordenes de salida hacia la parte operativa

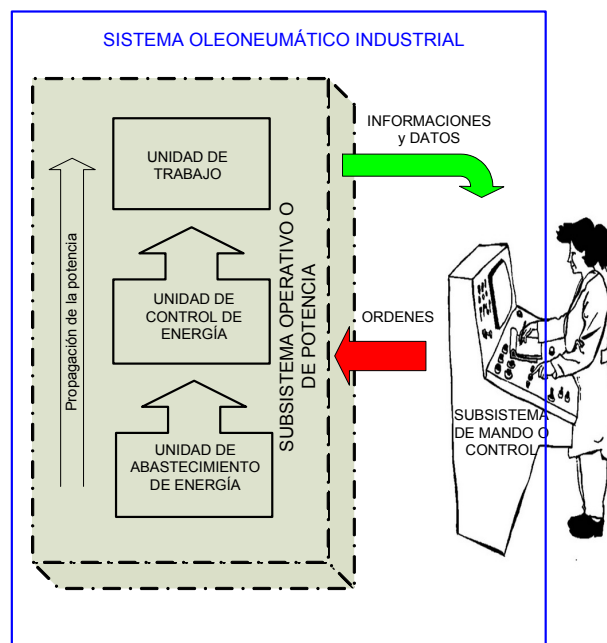


Figura 3.1.1.1.- Configuración del Sistema Oleoneumático automatizado.

<sup>1</sup> En el campo de la Tecnología Oleoneumática es más frecuente emplear la denominación "sistema de mando" que "sistema de control".

El subsistema operativo o de potencia, a su vez, se puede fraccionar en:

- Unidad de trabajo: es aquella que ejecuta los diversos movimientos operativos de una máquina o proceso. La energía contenida en el fluido sometido a presión es aprovechada para la ejecución de los movimientos o para la generación de fuerzas. Fundamentalmente los elementos empleados son los actuadores hidráulicos y neumáticos. Estos actuadores pueden ser lineales, p.ej. cilindros, o rotativos, p.ej. motores rotativos y oscilantes.
- Unidad de control de energía: Es la encargada, bajo las órdenes procedentes de la parte mando o control, de que la energía contenida en el fluido llegue hasta la unidad de trabajo. Esta función está a cargo de los siguientes elementos.
  - Válvulas direccionales o distribuidores de potencia.
  - Válvulas reguladoras de caudal
  - Válvulas reguladoras de presión
  - Válvulas de aislamiento o corte
- Unidad de abastecimiento de energía: Esta se subdivide en dos partes: elementos para la función de transformación de la energía y elementos de preparación del fluido sometido a presión.

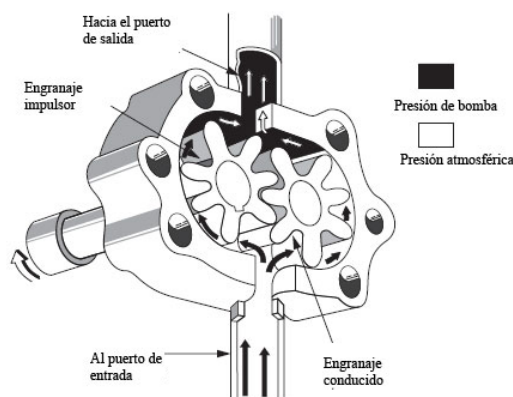


Figura 3.1.1.2.- Unidad de abastecimiento de energía: Bomba de engranajes externos.

Tabla 3.1.1.1.- Composición de la Unidad de abastecimiento de energía.

| <i>Partes</i>                       | <i>Elementos</i>  |
|-------------------------------------|---|
| <i>Transformación de la energía</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bomba o compresor.</li> <li>▪ Motor eléctrico o de combustión.</li> <li>▪ Acumulador.</li> <li>▪ Sistema de seguridad</li> <li>▪ Regulador de presión</li> <li>▪ Elementos accesorios: acoplamientos, manómetros,...</li> </ul>        |
| <i>Preparación del Fluido</i>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Filtro</li> <li>▪ Unidad de mantenimiento o acondicionamiento de aire.</li> <li>▪ Sistema regulador de temperatura.</li> <li>▪ Depósitos.</li> <li>▪ Elementos accesorios: indicadores de nivel, manómetros, termómetros,..</li> </ul> |

Y el subsistema de mando o control se puede desglosar en cinco bloques:

- Interface de Usuario o “HMI” <sup>2</sup>
- Entrada de Señales
- Procesamiento de Señales
- Salida de Señales
- Fuente de energía para la unidad de mando.

<sup>2</sup> Siglas en inglés del término “Human Machine Interface” que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas

Tabla 3.1.1.2.- Composición del Subsistema de Mando o Control.

| <b>SUBSISTEMA DE MANDO o CONTROL</b>              |   |
|---|---|
| <b>Denominación del Bloque</b>                    | <b>Descripción</b>  |
| <b>INTERFACE HOMBRE - MÁQUINA (“HMI”)</b>         | <p>Permite al Operador: enviar señales al proceso (inicio, pausa, ciclo continuo, parada de emergencia,..), ajustar las condiciones del trabajo (fuerza, distancia,..) y por medio de los sistemas de señalización y alarma, controlar permanentemente el desarrollo de las operaciones.</p> <p>Esta función, se realiza por medio de accionamientos de mando con intervención humana (válvulas direccionales, pulsadores, botoneras,...) y señalizaciones luminosas, o en automatismos mediante consolas, scadas en pc o pantallas táctiles, ...</p> |
| <b>ENTRADA DE SEÑALES</b>                         | <p>Lo componen tanto los captadores de información como todos los elementos a través de los cuales ingresan las señales al bloque de procesamiento de señales. En este bloque estarían los sensores de posición, tiempo, fuerza, etc. y los elementos de acondicionamiento de la señales.</p>   |
| <b>PROCESAMIENTO DE SEÑALES</b>                   | <p>Es el “cerebro” de la cadena de mando, recibe las señales provenientes del Bloque de entrada de señales y del Interface hombre-máquina, las procesa según leyes preestablecidas y emite las órdenes de trabajo previamente ajustadas en el bloque de salida de señales.</p>  |
| <b>SALIDA DE SEÑALES</b>                          | <p>Su función es gobernar el flujo energético dirigido a los accionamientos oleoneumáticos. Físicamente, es un conjunto de elementos receptores de las señales emitidas por el Bloque de procesamiento, las cuales serán convertidas o/y amplificadas a las formas adecuadas y requeridas por los elementos de actuación.</p>   |
| <b>FUENTE DE ENERGÍA para la unidad de mando.</b> | <p>Es importante reseñar que la parte de mando debe estar dispuesta para funcionar, con todos sus elementos convenientemente alimentados, aunque la parte operativa estuviera en fallo o parada.</p>  |



### 3.1.2 Cadena de Mando

El Sistema Oleoneumático no sólo requiere de estas dos partes constructivas, subsistema operativo y subsistema de control, sino que, también, se garantice el funcionamiento coordinado entre ellas y sus componentes, sin interferencias y en forma confiable. Con este fin, en el Sistema Oleoneumático se establece un flujo de señales característico que se denomina “cadena de mando” y que controla el subsistema de mando. De esta forma, la cadena de mando representa el canal por el cual se transmiten las informaciones y los datos de la parte operativa y del operador al subsistema de mando y, también, es por donde fluyen las ordenes de las actividades y tareas encomendadas al subsistema operativo. En este flujo continuo de información se establece:

- por un lado, un itinerario de autoridad en el sistema oleoneumático controlado.
- y por otro, una autoridad superior, la del operador, para dar las consignas al subsistema de mando y esperar que éstas sean cumplidas por el subsistema operativo.

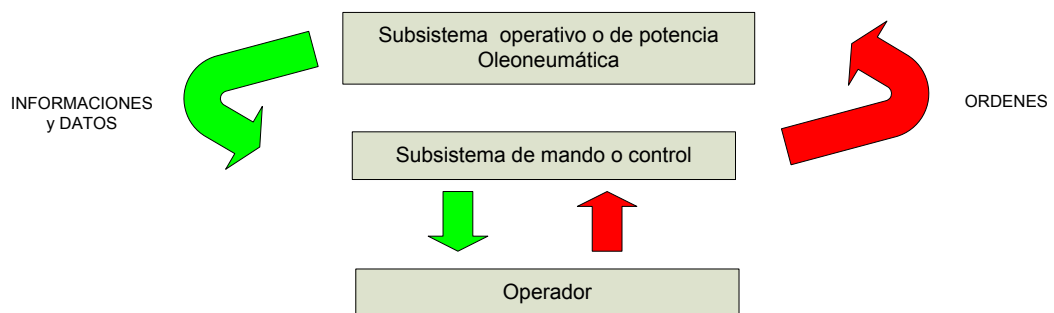


Figura 3.1.2.1.- Sinopsis de la Cadena de Mando.

Si los elementos de que se compone el subsistema de mando (salvo su abastecimiento de energía) se incorporan a esta sinopsis se puede concretar la configuración de la cadena de mando del sistema oleoneumático automatizado con el siguiente flujograma.

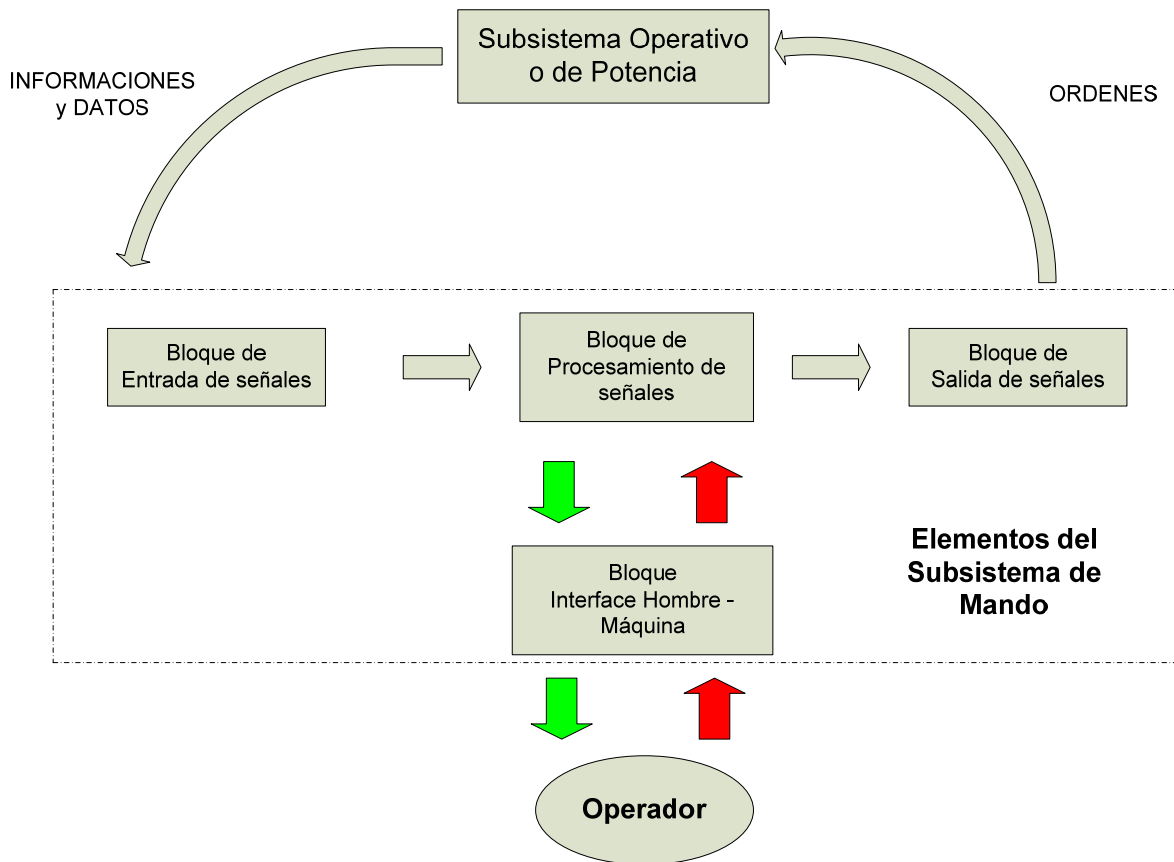


Figura 3.1.2.2.- Sinopsis de la Cadena de Mando del Sistema Oleoneumático automatizado.

## 3.2 Sistema de Mando o Control

### 3.2.1 Definición del mando

Comúnmente se entiende por mando el conjunto de órganos con los que se controla o modifica el funcionamiento de una máquina o sistema.

Desde el punto de vista de la acción, el mando en un sistema se define como aquel suceso en el cual una o varias variables, denominadas “parámetros de entrada”, influyen en otras variables “parámetros de salida”, en virtud de leyes propias del sistema.

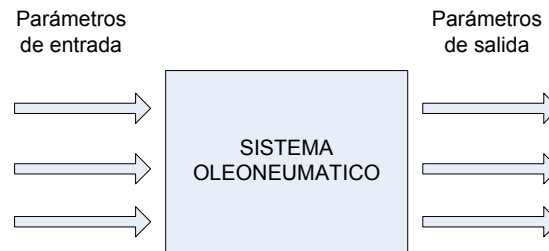


Figura 3.2.1.- Mando de los Sistema Oleoneumáticos.

El sistema de mando permitirá gobernar la respuesta del sistema sin que el operador intervenga directamente sobre sus salidas. El operador manipulará los parámetros de entrada, también denominados consignas, siendo el sistema de mando el encargado de gobernar y controlar los parámetros de salida y, en consecuencia, las salidas del sistema.

Por tanto, la tarea de un mando es determinar el desarrollo del funcionamiento del sistema oleoneumático, en función de los acontecimientos y enclavamientos previstos. Como se explicará más adelante en esta Tesis, se dispondrá de informaciones y señales que son procesadas por el subsistema de mando para definir las órdenes de mando que serán ejecutadas por el subsistema operativo en el orden, momento y forma correcta.

### 3.2.2 Clasificación de los mandos

A continuación, se hace una clasificación de los mandos según los siguientes tres criterios:

- la forma con que se implementa.
- la tipología de la señal con que opera.
- el modo de procesamiento de las señales.

### 3.2.2.1 Clasificación según la forma con que se implemente

En referencia a este primer criterio, la clasificación de los tipos de mando se puede reducir a 3 grupos básicos.

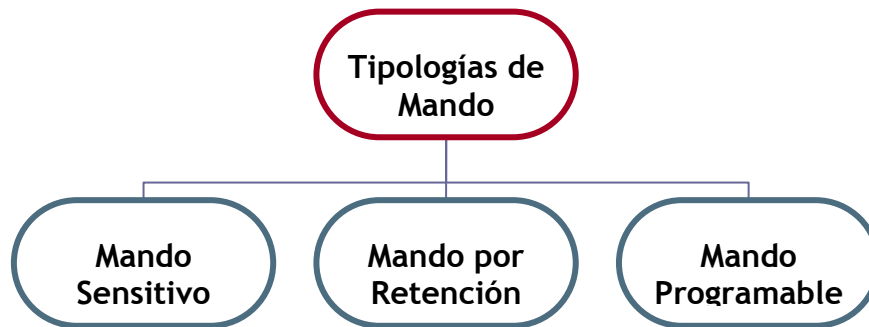


Figura 3.2.2.1.1.- Clasificación de los Mandos.

- 1) *Mando sensitivo*: es aquel que entre la magnitud de consigna y la magnitud de salida existe una relación específica siempre que no haya interferencias externas. Una característica definitoria es la ausencia de cualquier tipo de memoria.
- 2) *Mando por retención*: es aquel que memoriza la magnitud de consigna y mantiene el valor alcanzado. Para que la magnitud de consigna vuelva al valor inicial es necesario introducir una magnitud contraria o diferente.
- 3) *Mando programable*: Se caracteriza porque su desarrollo se lleva a cabo por un programa, denominado “programa de mando” o “programa de control”. Este programa se memoriza en un “portador de programa”. Para el portador se suelen emplear: sistemas de almacenamiento en estado sólido (memorias electrónicas de semiconductores); sistemas de almacenamiento magnéticos; sistemas de almacenamiento ópticos, y combinaciones de éstos últimos. A su vez, el mando programable se divide:

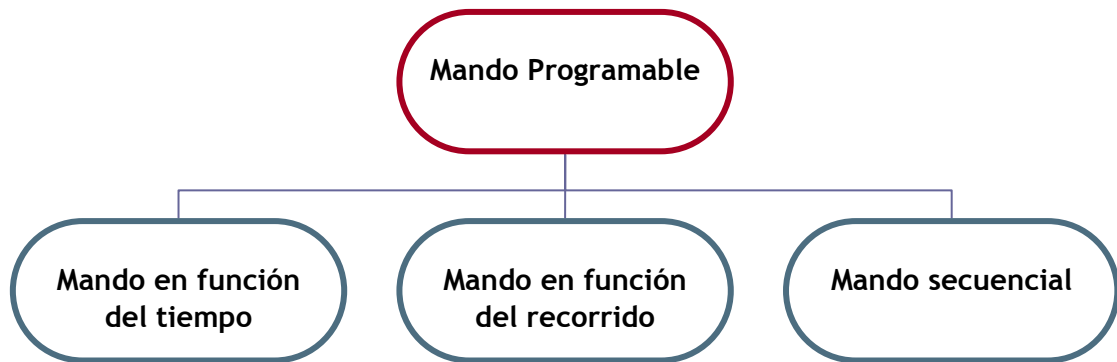


Figura 3.2.2.1.2.- Clasificación del Mando programable.

- 3.1) *Mando en función del tiempo: Las salidas del sistema oleoneumático son establecidas por una memoria programable en función del tiempo. En consecuencia, esta tipología de mando se caracteriza por la existencia de un “portador de programa” (o “memoria”) y en que la ejecución del programa es función del tiempo.*
- 3.2) *Mando en función del recorrido: Las salidas son definidas por una memoria programable en función del trayecto recorrido por el sistema oleoneumático.*
- 3.3) *Mando secuencial: Las salidas del sistema oleoneumático siguen una sucesión ordenada que depende del estado del sistema. En este caso, el portador del programa se encarga de ejecutar paso a paso el programa en función de las variables entrada del equipo oleoneumático definiendo una secuencia de actuación fija. El programa tiene un carácter cíclico, es decir, posibilita al sistema reiniciar la secuencia cuando esta termina.*

### 3.2.2.2 Clasificación dependiendo de la tipología de señal con que opera

Según este segundo criterio, dependiendo de la tipología de la señal con que opera, permite distinguir los siguientes tipos de mando:

- 1) *Mando analógico: aquellos que trabajan con señales analógicas. Esta señal se caracteriza por ser representable por una función matemática continua, en la que es variable su amplitud y periodo en función del tiempo (representando ambas magnitudes datos de información).*
- 2) *Mando digital: este mando trabaja con señales digitales. Esta señal puede ser representada por valores discretos en lugar de valores de cierto rango. Es decir, que la señal puede tomar un número finito de valores dentro de su rango de existencia. El procesado se hace mediante circuitos digitales, microprocesadores y ordenadores.*
- 3) *Mando binario: son aquellos que trabajan con señales binarias. Esta se caracteriza porque cada elemento de información se le asigna uno de dos posibles estados. Los sistemas binarios, como por ejemplo los autómatas industriales o PLC's<sup>3</sup>, usan lógica de dos estados representados por dos niveles de tensión eléctrica, uno alto, H y otro bajo, L (de High y Low, respectivamente, en inglés). Por abstracción, dichos estados se sustituyen por unos y ceros, lo que facilita la aplicación de la lógica y la aritmética binaria. Si el nivel alto se representa por 1 y el bajo por 0, se habla de lógica positiva y en caso contrario de lógica negativa. Cabe mencionar que, además de los niveles, en una señal digital están las transiciones de alto a bajo y de bajo a alto, denominadas flanco de subida y de bajada, respectivamente.*

---

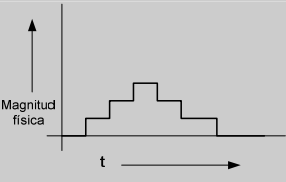
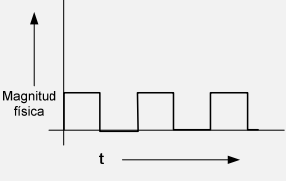
<sup>3</sup> PLC = "Programmable Logic Controller"

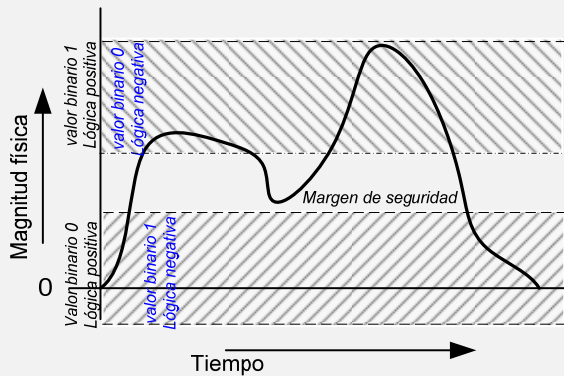
Tabla 3.2.2.2.1.- Clasificación del Mando dependiendo de la tipología de la señal.

|                    |           | Representación de señal | Tipología de la señal   |
|--------------------|-----------|-------------------------|---|
| Tipología de Señal | Análogica |                         | Señal analógica: varios datos están asignados, punto por punto, a un margen continuo de valores de una magnitud física.   |
|                    | Digital   |                         | Señal digital: Los valores de la magnitud física están subdivididos en un número finito de diversos márgenes de valores o escalones; a cada escalón está asignada una determinada información |
|                    | Binaria   |                         | Señal binaria: Es una señal digital con sólo dos valores para las características de señal "1"-“0”, “CONECTADO”-“DESCONECTADO”, “SI”-“NO”. Estos valores no deben solaparse.                  |

Tabla 3.2.2.2.2.- Características de la tipología de la señal.

|                    |           | Representación de señal | Características   |
|--------------------|-----------|-------------------------|---|
| Tipología de Señal | Análogica |                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La magnitud física puede tener cualquier valor dentro de determinados límites</li> <li>• A cada uno de los valores de la magnitud física esta asignada una información.</li> </ul> |

|                | Representación de señal   | Características   |
|----------------|---|---|
| <b>Digital</b> |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La señal digital puede producirse de una analógica. Para ello se definen varios umbrales de sensibilidad de la señal analógica que se corresponden con un conjunto de valores discretos, que representa la señal digital.</li> <li>• A diferencia de las señales analógicas presentan la ventaja de que las interferencias superpuestas pueden ser reconocidas y eliminadas fácilmente. Y su desventaja está en que la representación de valores intermedios esta limitada por el escalonamiento.</li> </ul> |
| <b>Binaria</b> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cualquier valor momentáneo de una señal analógica se puede representar mediante una señal binaria.</li> <li>• Para desarrollar el mando binario es necesario asignar a cada uno de los dos estados los correspondientes márgenes de magnitud.</li> </ul>   |





### 3.2.2.3 Clasificación fundamentándose en el modo de procesamiento de señales

En función de este tercer criterio se pueden diferenciar cuatro tipos de mando:

- 1) *Mando sincrónico: Es aquel mando que procesa las señales sincronizadamente con una señal de impulso rítmica.*
- 2) *Mando asincrónico: Es aquel que opera sin señal de impulso rítmica. Es un mando en el que los cambios de señal se producen exclusivamente a través de una modificación de la señal de entrada.*
- 3) *Mando combinatorio: es aquel, en que la combinación de señales de entrada, por medio de operaciones booleanas definidas en el mando, determina el estado de la magnitud producida.*
- 4) *Mando secuencial: se trata de un mando con ejecución obligatoria de pasos o etapas. La conmutación de un paso al siguiente depende de las condiciones establecidas a través del programa de mando. Especialmente, este mando facilita la programación de bucles, bifurcaciones, saltos, etc. A su vez este tipo mando se puede clasificar:*
  - 4.1) *Mando secuencial en función del tiempo: es el mando secuencial en el que la conmutación al siguiente paso depende exclusivamente del tiempo.*
  - 4.2) *Mando secuencial en función del proceso: se trata de un mando secuencial, en el que la conmutación al siguiente paso depende exclusivamente de las señales emitidas por el equipo oleoneumático y, por tanto, del proceso sujeto al control de mando.*

### 3.2.3 Configuración del Mando Programable.

Como ya se ha expuesto, el objetivo de un sistema de mando es el gobernar la actuación de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Dicho operador establece únicamente las magnitudes denominadas de consigna y será el subsistema de mando el encargado de gobernar dichas salidas a través de los distribuidores de potencia. Por tanto, desde el punto de vista de la señales, se presentan: por un lado, los parámetros de salida que son las ordenes de pilotaje o mando de los distribuidores de potencia que gobiernan y controlan el movimiento de los actuadores; y por otro, los parámetros de entrada tanto del sistema como del operador procedentes de los captadores información y del interface de usuario (HMI). Son estas últimas variables, los parámetros de entrada, los que se usan para definir el algoritmo de control del mando y que determinan los parámetros de salida que, a su vez, se traducen en órdenes de mando del sistema oleoneumático.

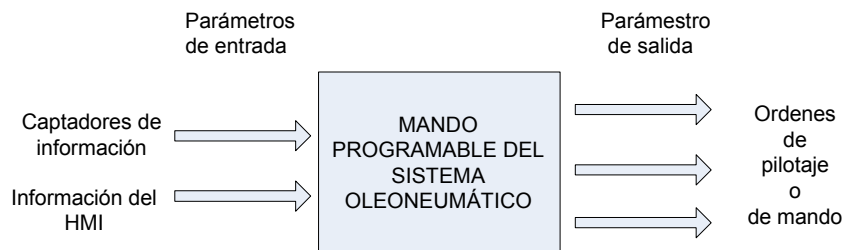


Figura 3.2.3.1. - Mando programable del Sistema Oleoneumático.

Para la implementación del mando caben dos posibilidades: en cadena abierta y en cadena cerrada. La primera, también denominada en “bucle abierto”, se rige por el siguiente flujograma.

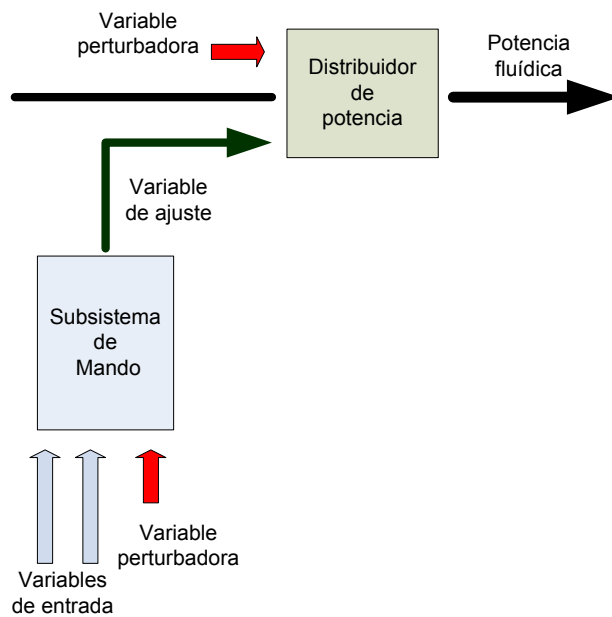


Figura 3.2.3.2. - Mando oleoneumático en cadena abierta.

La característica para el mando oleoneumático en cadena abierta es que el sistema responde a una señal de mando para hacer variar la salida consiguientemente. Este sistema, no corrige automáticamente las variaciones o perturbaciones que puedan existir. Es decir, existe un desarrollo abierto de la acción a través del órgano individual de transferencia: “el distribuidor de potencia” y, por tanto, las magnitudes perturbadoras no será posible compensarlas salvo que el operador modifique los valores de ajuste (o “consigna”).

La segunda posibilidad surge de añadir, al subsistema de mando, la supervisión automática de sus salidas. Esto permitirá desarrollar sistemas en “cadena o bucle cerrado” que compensarán de manera continua las perturbaciones que existan sin necesidad del operador. La salida del sistema se mide electrónicamente de una forma continua y cualquier error se corrige automáticamente. Por tanto, se considera que la salida del sistema es la variable a controlar. Estos sistemas en bucle cerrado, que también reciben el nombre de “circuitos de regulación”, se utilizan típicamente para controlar la posición, la velocidad o la fuerza de los actuadores oleohidráulicos y neumáticos con gran precisión.

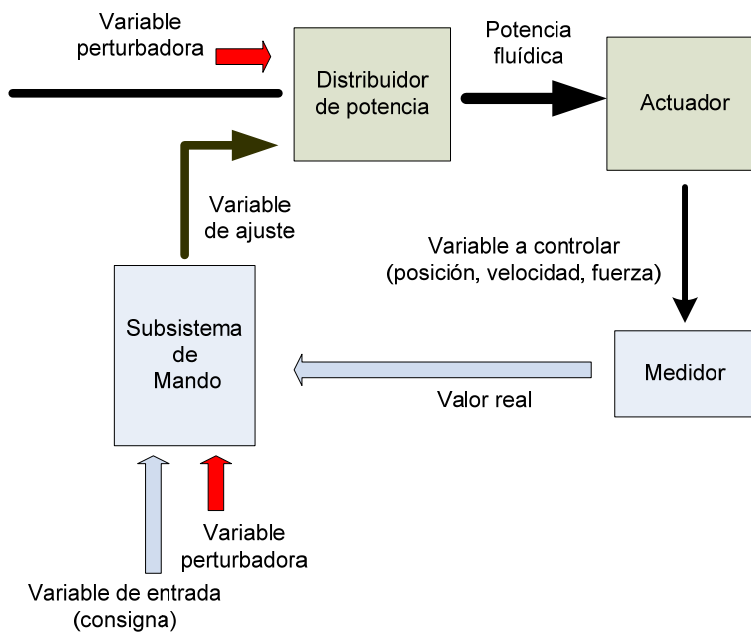


Figura 3.2.3.3. - Mando oleoneumático en cadena cerrada.

La técnica de control en cadena cerrada o regulación aporta un control de alta precisión y mayor fiabilidad a los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos pero, en contrapartida, implica una elevada inversión debido al mayor coste de sus componentes. Por ello, es necesario analizar los requerimientos de funcionamiento y servicio del sistema para valorar su implantación. Sólo el problema a solucionar, determinará si se considera adecuado *mandar o regular*.

Tabla 3.2.3. - Aspectos a valorar para mandar o regular.

| <i>Mandar tiene sentido</i>  | <i>Regular es oportuno</i>   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las repercusiones de una variación en la variable perturbadora son tan pequeñas que se desprecian.</li> <li>• Sólo se produce una variable perturbadora y se conoce el origen y su variación</li> <li>• Las magnitudes perturbadoras son infrecuentes y el sistema dispone de protecciones necesarias.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere de alta precisión y fiabilidad.</li> <li>• Pueden producirse diferentes magnitudes perturbadoras</li> <li>• Las magnitudes perturbadoras difieren en su índole y extensión</li> </ul> |

### 3.2.4 Algoritmo de control

Como se mostrará posteriormente, la síntesis del funcionamiento y operatividad del sistema oleoneumático automatizado se consigue mediante el algoritmo de control. La codificación del algoritmo de control al PLC o controlador deriva, finalmente, en el Programa de control del mando programable. En este trabajo de Tesis, el algoritmo de control se desarrolla mediante técnicas con lógica combinacional o secuencial. Así:

- i. En el primer caso, el algoritmo de control que define las órdenes de mando se implementará, exclusivamente, a través de la combinación de las variables de entrada por medio de operaciones booleanas. Lo que se traduce en que, para una cierta configuración de entrada, el sistema responde con la misma configuración de salida, independiente de la historia anterior al instante de aplicación de aquella. Por tanto, en estos sistemas sólo es importante la presencia de una combinación determinada de señales de entrada, para que sea disparada una determinada orden de mando.
- ii. En el segundo caso, secuencial, se definen las órdenes de mando no sólo de sus entradas actuales, sino también de los estados de las variables (de entrada o salida) en instantes anteriores o dicho de otra forma, de la evolución anterior del sistema. Esta “información” de la evolución del sistema, debe preservarse en el subsistema de mando y se denomina *estado interno*, o simplemente, *estado*. Es necesario distinguir el valor presente de una variable del que poseía en un instante inmediatamente anterior, y éste del anterior. Lo que implica que habrá una intervención explícita del tiempo.

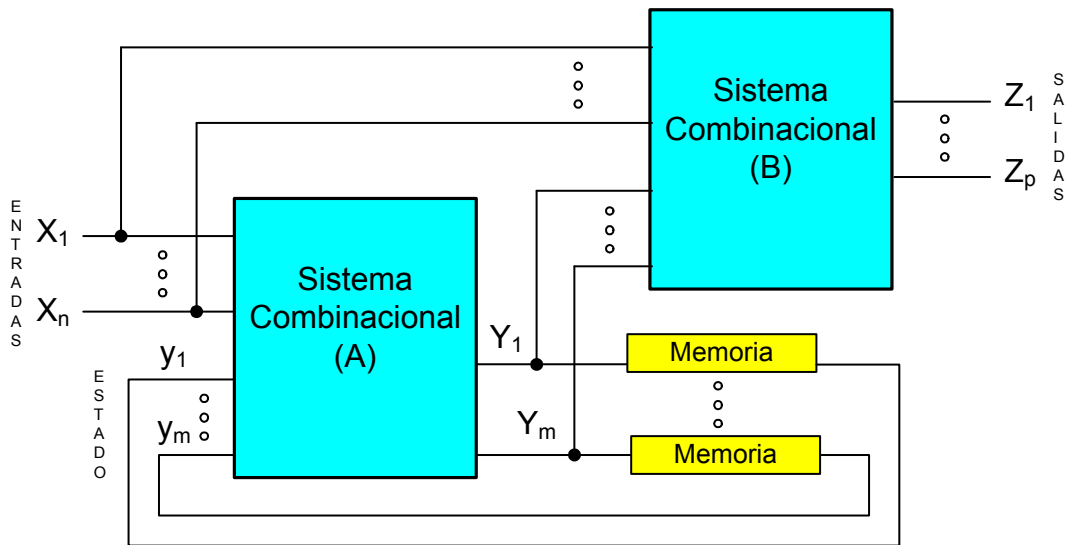


Figura 3.2.4.- Estructura general de un sistema secuencial (autómata de Mealy).

La estructura de Mealy muestra la configuración más general de los sistemas secuenciales. Esta formada por la interconexión de bloques combinacionales en los que aparece un elemento nuevo, una variable interna que se introduce nuevamente como entrada (la variable interna “Y” en el caso de la figura 3.2.4). Este tipo de variable interna hace que la respuesta del sistema ya no dependa exclusivamente de las entradas, sino que dependa también del estado interno, por lo cual se suelen llamar variables de estado.

Tabla 3.2.4.1. - Diferencias esenciales entre sistemas combinacionales y secuenciales.

| METODO        | Variables básicas  | Operadores                                     | Característica esencial   |
|---------------|--|--|---|
| COMBINACIONAL | Entradas<br>Salidas<br>Combinacionales internas                            | Lógicos (Y, O, NO)                             | Las salidas son independientes del estado inicial   |
| SECUENCIAL    | Entradas<br>Salidas<br>Combinacionales internas<br>Estado o estado interno | Lógicos (Y, O, NO)<br>Memorias (Biestables RS) | El proceso sigue la ejecución obligatoria de pasos o etapas.<br>Las salidas son dependientes del proceso y/o el tiempo. |

En esta Tesis, además de la algebra de Boole, se utilizan diferentes lenguajes gráficos estandarizados para la representación del algoritmo de

control del mando programable. Esto proporciona una representación comprensible y universal, además, de una síntesis del funcionamiento del sistema oleoneumático.

La codificación del algoritmo de control consiste en transcribir el lenguaje formal de diseño empleado a un lenguaje de programación del PLC o controlador. A continuación, se establece un breve resumen de los lenguajes de programación para PLC's según IEC 1131-3<sup>4</sup>.

Tabla 3.2.4.2. - Lenguajes de programación para PLC's según IEC 1131-3.

| Lenguajes | Características principales  |
|-----------|--|
| LD        | El lenguaje de diagrama de contactos (Ladder Diagrama) es un lenguaje de programación gráfico creado a partir de representaciones de esquemas de circuitos. Un diagrama de contactos consta de regiones lógicas individuales, denominadas "networks", con elementos de interrupción y bobinas. Es especialmente adecuado para la representación de enlaces en serie y en paralelo. |
| FBD       | El diagrama de bloques funcionales (Functional Block Diagram) tiene su origen en la representación gráfica que se utiliza en los circuitos y esquemas electrónicos. Las funciones y bloques de función están representados gráficamente y conectados entre sí en redes.  |
| IL        | La lista de instrucciones (Instruction List) es un lenguaje de programación textual del tipo ensamblador empleado para la programación de microcontroladores. Es el lenguaje más potente de los cinco.   |
| ST        | El texto estructurado (Structured Text) es un lenguaje de alto nivel basado en el lenguaje Pascal y adaptado a las necesidades propias del control de procesos.<br>Es un lenguaje muy potente especialmente indicado para métodos de cálculo, administración de datos, etc.  |
| SFC       | El gráfico funcional secuencial (Sequential Function Chart) es un lenguaje que deriva del Grafset y de las Redes de Petri con las modificaciones adecuadas para convertir estas representaciones gráficas en un conjunto de elementos de programación.   |

Actualmente, el software de PLC's o de controladores permite emplear para su programación la mayor parte de estos lenguajes normalizados, y en muchos casos opcionalmente, se dispone de un convertidor o traductor de lenguajes.

<sup>4</sup> IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages

### 3.3 Representación de los Sistemas Oleoneumáticos

#### 3.3.1 Introducción

Para realizar de forma eficiente el trabajo de diseñar un sistema Oleoneumático es necesario utilizar una representación clara, precisa y completa del funcionamiento que incluya la interrelación de las distintas partes del sistema a diseñar. A esta descripción funcional le corresponderá, por tanto, abordar los siguientes requerimientos:

- 1) La secuencia funcional: especificación de la sucesión de etapas o eventos que se han de desarrollar en el sistema.
- 2) Las condiciones de transición de etapas y la condición de marcha o especificaciones del arranque<sup>5</sup>: detalle de las órdenes, informaciones y datos que condicionan el funcionamiento y operatividad del sistema.
- 3) Los modos de operación: modalidades o posibilidades de funcionamiento del sistema. Estas, podrían, ser: automático, manual, ciclo continuo, etc.
- 4) Las condiciones y estados de seguridad: enlaces y enclavamientos de seguridad y definición de las situaciones de protección interna y externa. (p. ej., protección interna: contra faltas, accionamiento errado por contacto casual, accionamiento prolongado y retardo de descarga, etc. protección externa: condiciones ambientales, influencias electromagnéticas,...)

Aunque parezca obvio, se debe recordar que cuanto más grande y complejo sea un sistema o una instalación más *se precisa de una representación*

---

<sup>5</sup> En esta tesis, se utilizará la abreviatura “CM” para significar esta situación.



*lo más simple y clara posible* para todo el personal involucrado en el sistema. Esta representación es necesaria, en el caso del diseñador y como se expone en esta tesis, para el desarrollo y análisis del sistema a definir y, para el personal de montaje y mantenimiento, porque le permitirá, por un lado, establecer una pauta de montaje y configuración ordenada del sistema y, por otro, definir una metodología de mantenimiento para la “detección sistemática de averías”. *Probar, buscar o adivinar sin ninguna metodología en el montaje o mantenimiento del sistema no sólo supondrá malgastar tiempo y dinero sino poner en riesgo la seguridad humana.*

Por todos estos motivos es imprescindible conocer y dominar las diferentes técnicas de representación y los símbolos de los sistemas oleoneumáticos. Los documentos resultantes de la aplicación de este conocimiento permitirán disponer de una información estándar en un lenguaje técnico universal, lo que supondrá un recurso esencial para el entendimiento y análisis objetivo de cualquier Sistema Oleoneumático.

### 3.3.2 Representación normalizada

La norma ISO 1219 expone y estandariza la representación de los símbolos gráficos, en su primera parte<sup>6</sup>, y los diagramas de circuitos, en su segunda parte<sup>7</sup>, de los componentes y sistemas de transmisión hidráulica y neumática de potencia. En la norma española, la UNE 101149<sup>8</sup> del año 1986 y su erratum del año 1987 son equivalentes técnicamente a una revisión descatalogada de las ISO 1219 del año 1976, y tratan únicamente la representación de los símbolos gráficos.

---

<sup>6</sup> ISO 1219-1:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications

<sup>7</sup> ISO 1219-2:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 2: Circuit diagrams

<sup>8</sup> UNE 101-149-86 “Transmisiones hidráulicas y neumáticas. Símbolos gráficos”

Es importante matizar que los símbolos, en la norma ISO 1219, son funcionales. Es decir, que cada símbolo hidráulico y neumático determina no sólo el aparato al cual representa sino también su función. También es adecuado reseñar con respecto a esta normalización, los propósitos planteados por Raucourt, uno de los precursores del CETOP<sup>9</sup>: “Los signos son letras”. El conjunto de signos constituye un aparato, del mismo modo que el conjunto de letras da una palabra. El conjunto de aparatos constituye una instalación, lo mismo que la reunión de palabras forma una frase. Así como existen los sinónimos, también existen algunas veces diferentes formas para representar un mismo aparato.

Si bien la norma ISO 1219 es completamente válida, legítima y aplicable en la técnica de componentes de los sistemas oleoneumáticos, el uso como representación en el desarrollo y diseño de las automatizaciones se hace bastante enrevesada y difícil, y más a medida que el sistema se hace más complejo. Por ello, en el diseño y representación de sistemas electroneumáticos e electrohidráulicos industriales, la simbología normal de componentes pasa a un segundo plano, y se busca una representación que pondere la interrelación funcional de los componentes.

Por otro parte, la norma ISO 1219 carece de la representación suficiente para describir el control automatizado realizado en los actuales sistemas hidráulicos y neumáticos de potencia<sup>10</sup>. A este efecto, los símbolos de los elementos lógicos binarios, según norma europea EN 60617-12<sup>11</sup>, son de gran ayuda. No obstante, en esta norma sólo se encuentran indicados los símbolos de los enlaces puramente lógicos. La conversión y adaptación de ellos a la automatización oleoneumática demanda una extensión en lo que se refiere a

---

<sup>9</sup> CETOP / ISO (Comité Europeo de Transmisiones Oleohidráulicas y Neumáticas), que tiene su sede en Inglaterra. El CETOP (fundada en 1962) trabaja a nivel Europeo, según proyectos procedentes de ISO (Organización Internacional de Normalización).

<sup>10</sup> En español se emplea el término sistemas oleoneumáticos tanto para los sistemas hidráulicos como neumáticos de potencia.

<sup>11</sup> IEC 60617-12:1997 Graphical symbols for diagrams - Part 12: Binary logic elements

energía y a la característica de los elementos empleados. Y tampoco existe una norma de aplicación para la identificación y representación de la cadena de mando de los sistemas oleoneumáticos, hasta el punto de que en el campo de entrada y salida de señales del sistema de control se deberá tomar un criterio arbitrario para realizar simplificaciones.

En resumen, para el campo de la automatización oleoneumática no hay una descripción funcional normalizada, tampoco hay una definición clara sobre la representación del control automatizado de los sistemas hidráulicos y neumáticos de potencia según norma ISO.

Hechas estas observaciones y con objeto de obtener un manejo rápido y claro en el diseño, desarrollo e implementación de los sistemas oleoneumáticos automatizados se establecen, en esta tesis, los siguientes criterios y recomendaciones:

- 1) La parte del sistema que realiza el trabajo, es decir, el subsistema operativo o de potencia se representará según norma ISO 1219.
- 2) Para la parte lógica de mando, en el campo de proceso de señales, se usará la simbología representada en la norma EN 60617-12 con las extensiones y adaptaciones apropiadas a los sistemas oleoneumáticos. Se utilizará la detallada y extensa normativa eléctrica UNE 60947<sup>12</sup> para los elementos de aparataje eléctrica del sistema.
- 3) Para definir las distintas áreas de señales y su procesamiento, que no estén contemplados en la simbología lógica, se usará nuevos símbolos y

---

<sup>12</sup> UNE EN 60947 Aparataje de baja tensión. Parte 1: Reglas Generales (UNE EN 60947-1) ; Parte 2: Interruptores automáticos (UNE EN 60947-2); Parte 3: Interruptores, Seccionadores, Interruptores-Seccionadores y Combinados Fusibles (UNE EN 60947-3); Parte 4, sección 1: Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos (UNE EN 60947-4-1); Parte 5, sección 2: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad (UNE EN 60947-5-2).

representaciones simplificadas. Lo mismo se aplicará para las unidades integradas y circuitos secuenciales completos.

- 4) Se establecerá una descripción funcional que ofrezca una información clara sobre las acciones y reacciones del sistema oleoneumático. Y en este punto se asistirá y apoyará en la representación funcional contemplada en la VDI/VDE 3684<sup>13</sup> y en el estándar internacional IEC 60848<sup>14</sup>
- 5) Se adoptará el IEC 61131-3 para implementar la descripción funcional en una estructura de software que pueda ser adaptada e interpretada por el control lógico programable, y especialmente, por el autómata programable industrial.

### ***3.3.2.1 Descripción funcional de los sistemas***

El diagrama funcional es una representación orientada al proceso del diseño y desarrollo de la automatización del sistema oleoneumático, independientemente de su implementación y montaje, p. ej. de los utillajes empleados, del tendido de líneas o del lugar de situación. Se podría decir que la misión del diagrama funcional es sustituir o complementar la descripción verbal del problema de mando, pero esto sería quedarse corto. El diagrama funcional también muestra de forma sinóptica y estándar un problema de automatización oleoneumática con sus características esenciales (estructura ordinaria) y con los detalles precisos para el caso respectivo de aplicación (estructura pormenorizada). Por tanto, para el entendimiento y análisis objetivo de un sistema oleoneumático industrial y para el diseño de su sistema de mando, será necesaria una descripción funcional clara y precisa.

---

<sup>13</sup> VDI/VDE 3684 "Manufacturer-independent configuration of drive systems - Description of event-driven motion processes with functional diagrams"

<sup>14</sup> IEC 60848 "GRAFCET specification language for sequential function charts".

A continuación, se expondrán las posibilidades de representación más usadas y estandarizadas en el diseño de los sistemas oleoneumáticos.

Estas son:

- Descripción en texto
- Diagramas funcionales
- Diagramas secuenciales

Todas estas representaciones funcionales se conjugan normalmente con los clásicos circuitos o esquemas hidráulicos y neumáticos que, como es sabido, muestran el montaje, la operatividad e interrelación de los distintos componentes. El diagrama funcional no debe ser un recurso específico del diseñador porque será usado también por el personal de montaje y mantenimiento, lo que le facilitará y agilizará su labor. Por ello, existe la necesidad de establecer una consonancia en la terminología e identificaciones empleada en la representación funcional con estos circuitos y esquemas.

Para ilustrar y entender los distintos métodos de representación se ejemplificará sobre el caso práctico de una plegadora industrial. Se trata de un sistema electroneumático para conformar chapa de aluminio que funciona con cinco cilindros que actúan de forma secuencial. En las siguientes figuras se muestran croquis de la máquina en distintos estados de funcionamiento.

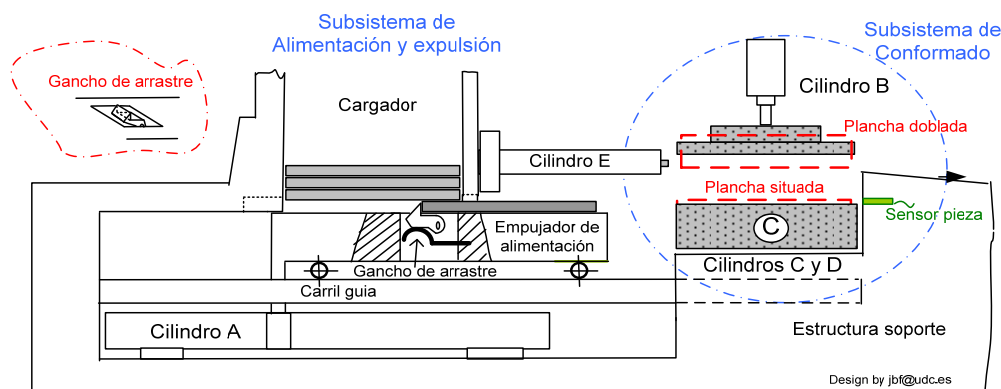


Figura 3.3.2.1.1. - Plegadora industrial: croquis 1.

Esta máquina ha sido diseñada para realizar un proceso de producción continua y para ello se ha diseñado un subsistema de alimentación y expulsión de piezas en conjunción con el proceso de conformado de chapa. Dispone de un cargador en el que se ubican las chapas, y de donde son sustraídas por un empujador accionado por un cilindro de doble efecto sin vástago. Una vez situada la chapa sobre el subsistema de conformado se inicia el proceso para el doblado de una pieza en forma de C a través de tres cilindros neumáticos. Terminado este proceso se realiza la expulsión de la misma a través de otro cilindro. A continuación, se detalla la secuencia del proceso paso a paso.

### *Etapa 1 y 2: Alimentación de la pieza*

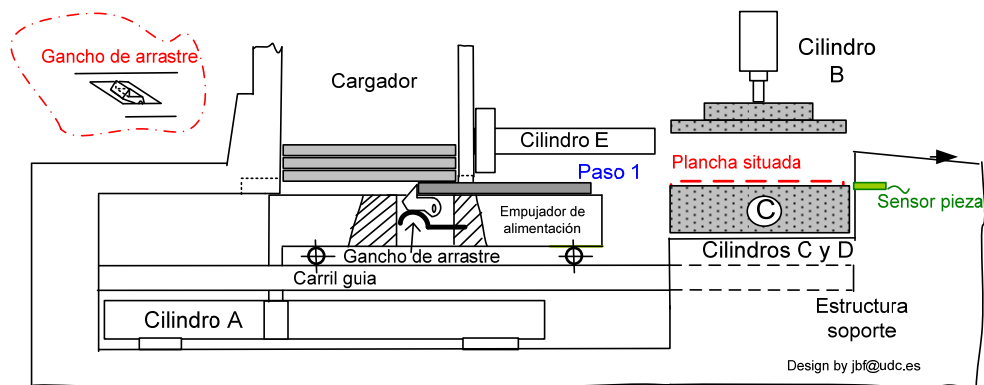


Figura 3.3.2.1.2. - Plegadora industrial: croquis 2.

En el dibujo se aprecia el subsistema de alimentación y expulsión de chapas que consta de un cilindro sin vástago que desplaza un carro, denominado “empujador de alimentación”, sobre un carril guía y de un cilindro de doble efecto “E”. El empujador de alimentación dispone de un gancho escamoteable que permite sustraer las chapas del cargador y situarlas debajo del subsistema de conformado. El gancho sólo tiene que sobresalir unos pocos milímetros y en caso de chapas muy anchas se pueden emplear varios. Se emplean sensores magnéticos, de tipo “reed”, situados sobre el cilindro sin vástago para detectar las posiciones extremas del carro. Una vez situada la plancha y antes de que se inicie el proceso de conformado, se retrae el carro para cargar otra pieza para el ciclo siguiente. Por otro lado, este subsistema dispone de un cilindro de doble

efecto “E” que retira la pieza conformada cuando se finalice el proceso. Es interesante indicar que el subsistema de alimentación y expulsión que se ha diseñado es versátil y podría ser montado posteriormente a la máquina y ser empleado o reutilizado en otros procesos.

*Etapa 3 a la Etapa 6: Conformado de pieza.*

Para conformar piezas no necesariamente tiene que recurrirse a unidades excéntricas o prensas hidráulicas. Para ello basta utilizar estructuras de venta en el comercio especializado y ejecutar los movimientos mediante componentes neumáticos. En la figura 3.4.3.1.3 se muestra la secuencia para una propuesta con 3 cilindros de doble efecto.

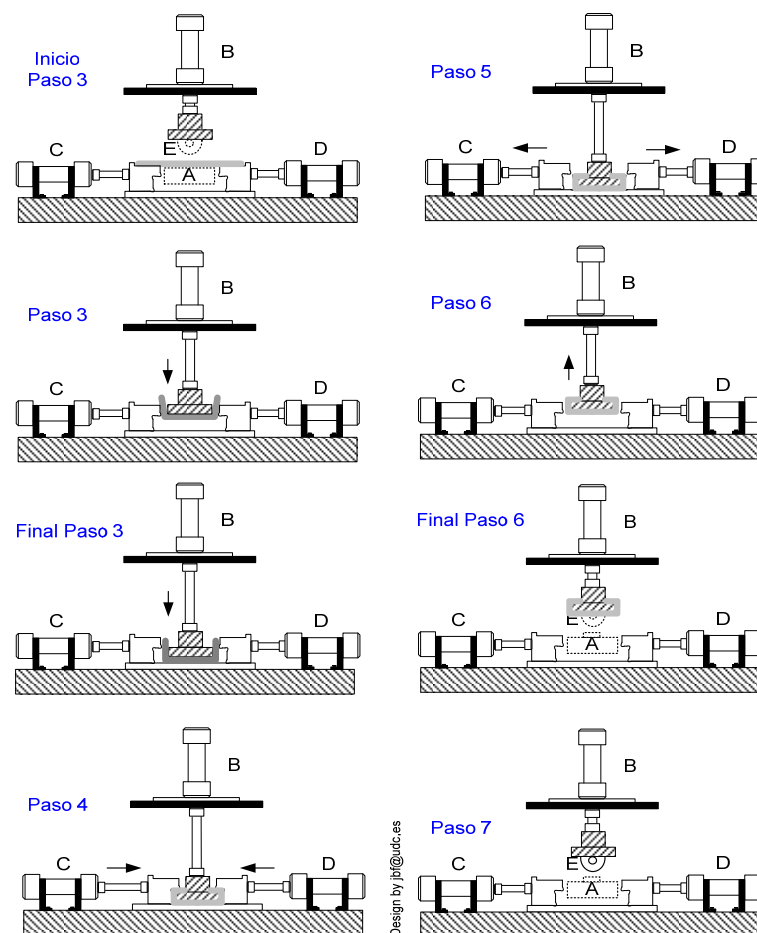


Figura 3.3.2.1.3. - Plegadora industrial: Secuencia de conformado de pieza.

Una vez situada la pieza y detectada su presencia mediante un sensor, se inicia el avance del cilindro B en cuya cabeza lleva la matriz que dará forma a la chapa y se inicia el predoblado de la chapa en forma de U. Una vez que concluye el movimiento vertical del cilindro B empiezan a actuar las mordazas laterales accionadas por los cilindros C y D que acaban el doblado de la pieza. Luego se retiran las mordazas, y finalmente asciende el cilindro B, para que se le retire la pieza conformada en forma de C. Todo ello implica que las distintas fases son controladas mediante señales emitidas por los detectores magnéticos, tipo reed, montados sobre las camisas de los cilindros de doble efecto que se emplean.

### *Etapa 7 y 8: Expulsión de pieza conformada*

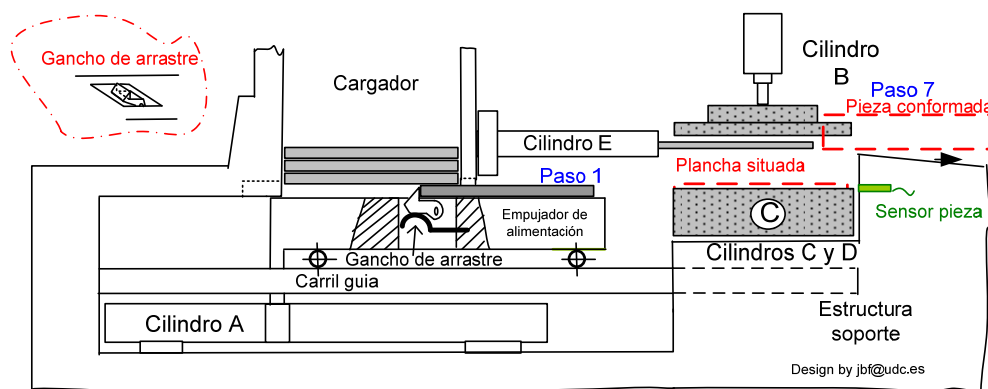


Figura 3.3.2.1.4. - Plegadora industrial: croquis 3.

Una vez concluida la operación de conformado de chapa, la pieza es retirada mediante el cilindro "E" de doble efecto perteneciente al subsistema de alimentación y expulsión. El sistema estará en disposición de iniciar un nuevo ciclo una vez que se retire la pieza y se recoja el cilindro. Se ha estudiado la posibilidad de cargar la chapa y retirar la pieza del subsistema de conformado simultáneamente para volúmenes de producción muy elevada y continuada. Las modificaciones necesarias sólo afectarán al programa de control, aportando flexibilidad y adaptabilidad del sistema a las necesidades de producción.



### 3.3.2.2 Consideraciones, terminología e identificaciones.

Las siguientes consideraciones deben ser de uso común en la descripción funcional y en los circuitos o esquemas de funcionamiento de los sistemas oleoneumáticos. Se fundamentan en la aplicación de las normas anteriormente citadas y de los estándares establecidos por los fabricantes y constructores más importantes de la tecnología oleoneumática.

- 1) El estado de referencia es la posición normal del equipo, que es siempre, el estado en reposo y listo para funcionar, salvo que se indique lo contrario. Esto implica:
  - (a) Que en el caso de los sistemas hidráulicos la posición normal del equipo es con Potencia hidráulica no conectada.
  - (b) Que en el caso de los sistemas neumáticos la posición normal del equipo es con Potencia neumática conectada.
  - (c) Que a mayores a las dos condiciones anteriores en los sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos se considera como posición normal la potencia eléctrica de control desconectada.
  - (d) Que todos los elementos del sistema oleoneumático se representarán en la posición normal del equipo. Esto implica, a su vez, que:
    - (i) Los distribuidores de potencia no se hallan accionados.
    - (ii) Los elementos de trabajo adoptan la posición que resulta cuando el sistema y todos sus componentes se hallan en su posición normal.
    - (iii) Y de existir un elemento en posición normal accionado por un elemento de trabajo se ha de mostrar en su lugar de acción (por ejemplo mediante una flecha en caso de un sensor de posición).
  
- 2) Si el sistema esta compuesto de varios elementos de trabajo, es recomendable desglosarlo según cadenas de mando individuales,

pudiéndose formar una cadena de mando para cada actuador. De ser posible, estas cadenas deberían representarse en el diagrama o esquema contiguamente y según el orden de los ciclos de movimiento.

- 3) Los elementos deben introducirse en el esquema según la dirección de propagación de la energía. Se irá de la parte inferior a la superior del esquema, por ejemplo: unidad de abastecimiento de energía, unidad de control de energía y unidad de trabajo.

Por otro lado, la adecuada designación e identificación de los componentes de un sistema oleoneumático juega un papel fundamental en la lectura e interpretación de sus funciones. La metodología debe ser simple, clara y sin ambigüedades con objeto de facilitar la interpretación y análisis. Actualmente, para la identificación de los distintos elementos que constituyen un esquema neumático o hidráulico se emplean distintas formas:

- (1) Identificación por referencia compuesta.
- (2) Identificación alfanumérica.
- (3) Identificación alfanumérica según norma ISO 1219-2.
- (4) Identificación por numeración correlativa

#### 3.3.2.2.1 Identificación por referencia compuesta

Consiste en dividir el proceso en grupos, que se numeran de forma correlativa, y los componentes de cada grupo, que se enumeran de forma continua. La identificación se forma utilizando números naturales e indicando primero el número de grupo y luego el número de componente separado por un punto.

*“ N° grupo . N° componente ”*

Los grupos se forman con los elementos que intervienen en las distintas cadenas de mando que puede presentar un sistema oleoneumático industrial. Se inician, normalmente, en el número uno reservando el cero para la unidad de abastecimiento, cuando alimenta varias cadenas de mando, con el objeto de identificar un elemento común a varios grupos.

Tabla 3.3.2.2.1.1. - Referencia compuesta: Numeración de grupos.

| Nº de Grupo | Composición  |
|-------------|--|
| 0           | <i>Todos los elementos de la unidad de abastecimiento de energía.</i><br>p.ej: 0 para los componentes de la alimentación y acondicionamiento de potencia fluidica que suministran potencia a varias unidades de trabajo. |
| 1, 2, 3,... | <i>Designación de las distintas cadenas de mando</i><br>p.ej: 1 para la primera unidad de trabajo , 2 para la segunda unidad de trabajo, etc.  |

La numeración de los componentes se realiza de la forma indicada en la siguiente tabla.

Tabla 3.3.2.2.1.2. - Referencia compuesta: Numeración de componentes.

| Nº de componente | Composición  |
|------------------|--|
| .0               | <i>Elementos de trabajo</i><br>p.ej: 1.0 para el primer actuador (cilindro o motor), 2.0 para segundo actuador, etc.   |
| .1               | <i>Distribuidores de potencia de los elementos de trabajo.</i><br>p.ej: 1.1 para el distribuidor de potencia del actuador 1.0, 2.1 para el distribuidor de potencia del actuador 2.0, etc.   |
| .2, .4, etc.     | <i>Todos los elementos que originan el avance del elemento de trabajo correspondiente.</i><br>p.ej: El sensor 1.2 y el pulsador 1.4 que inician el avance del actuador 1.0, el sensor 2.2 que inicia el avance del cilindro 2.0, etc.                            |
| .3, .5, etc.     | <i>Todos los elementos que originan el retroceso del elemento de trabajo correspondiente.</i><br>p.ej: El sensor 1.3 que inicia el retroceso del actuador 1.0, el sensor 2.1 que inicia el retroceso del actuador 2.0, etc.                                      |
| .02, .04, etc.   | <i>Elementos situados entre el distribuidor de potencia y su elemento de trabajo que afectan al flujo de avance.</i><br>p.ej: las válvulas reguladoras de caudal 1.0.2, 1.0.4, etc. que regulan respectivamente las velocidades de los actuadores 1.0, 2.0, etc. |
| .01, .03, etc.   | <i>Elementos situados entre el distribuidor de potencia y su elemento de trabajo que afectan al flujo de retroceso.</i><br>p.ej: la válvula reguladora de caudal 3.0.1 que condiciona la velocidad de recogida del actuador 3.0                                  |

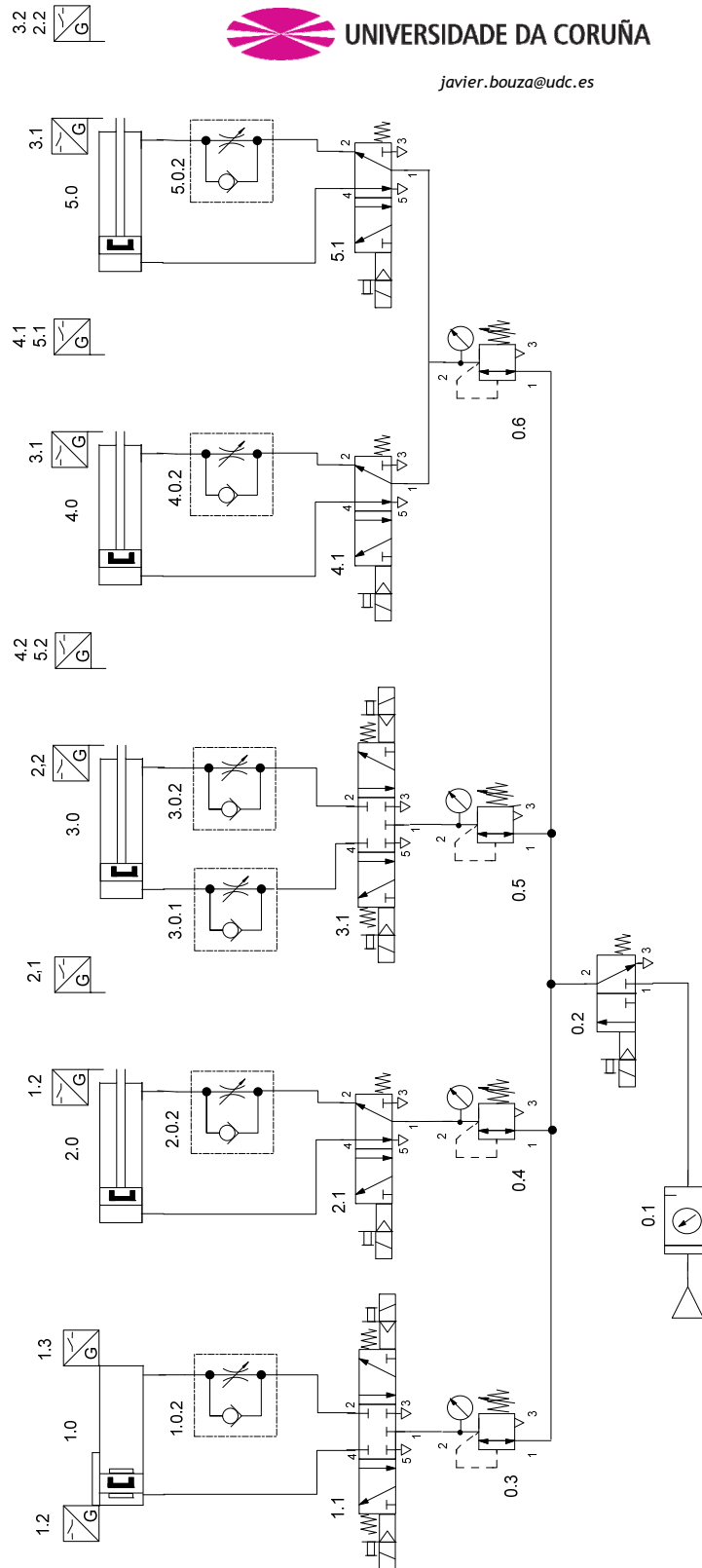
A continuación, se intenta clarificar la aplicación de este método de identificación en el ejemplo de la Plegadora neumática. En la siguiente tabla, se relaciona número de referencia y designación de cada componente con la indicación de la etapa en la que influye.

Tabla 3.3.2.2.1.3. - Identificación por referencia compuesta de la Plegadora industrial.

| Siglas | Componente   | Función   | Influye en                           |
|--------|--|---|--------------------------------------|
| 0.1    | Unidad de mantenimiento  | Acondiciona el aire consumido por el sistema                      | Todos los Grupos                     |
| 0.2    | Electroválvula 3/2 NC monoestable  | Controla la apertura y cierre de aire                             | Todos los Grupos                     |
| 0.3    | Válvula reductora de presión con escape.   | Regula y limita la presión  | Grupo 1                              |
| 0.4    | Válvula reductora de presión con escape.   | Regula y limita la presión  | Grupo 2                              |
| 0.5    | Válvula reductora de presión con escape.   | Regula y limita la presión  | Grupos 3 y 4                         |
| 0.6    | Válvula reductora de presión con escape.   | Regula y limita la presión  | Grupo 5                              |
| 1.0    | Cilindro sin vástago de doble efecto con pistón magnético                          | Alimentación de pieza   | Sistema                              |
| 1.0.2  | Válvula reguladora de caudal en un único sentido <sup>15</sup>                     | Regula la velocidad de 1.0  | Avance de 1.0                        |
| 1.1    | Electroválvula 5/3 monoestable con posición central cerrada y centraje por muelles | Distribuidor de potencia del actuador 1.0                         | Avance, parada y retroceso de 1.0    |
| 1.2    | Pulsador de inicio de marcha   | señal de mando  | Avance de 1.0<br>Activación del aire |
| 1.4    | Sensor de proximidad magnético del actuador 5.0 de mínima carrera                  | Señal que interviene en la orden de gobierno del distribuidor 1.1 | Avance de 1.0                        |
| 1.3    | Sensor de proximidad magnético del actuador 1.0 de máxima carrera                  | Señal que interviene en la orden de gobierno del distribuidor 1.1 | Retroceso de 1.0                     |
| 2.0    | Cilindro de doble efecto con pistón magnético                                      | Cilindro portador de Matriz                                       | Sistema                              |
| 2.0.1  | Válvula reguladora de caudal en un único sentido                                   | Regula la velocidad de 2.0  | Retroceso de 2.0                     |
| 2.0.2  | Válvula reguladora de caudal en un único sentido                                   | Regula la velocidad de 2.0  | Avance de 2.0                        |
| 2.1    | Electroválvula 5/3 monoestable con posición central cerrada y centraje por muelles | Distribuidor de potencia del actuador 2.0                         | Avance, parada y retroceso de 2.0    |
| 2.2    | Sensor de proximidad inductivo   | Detecta pieza en subsistema de conformado                         | Avance 2.0                           |

<sup>15</sup> Se utilizado la acepción “un único sentido” en vez de la designación indicada en muchos libros de literatura castellana “unidireccional” por ser este el significado correcto del término “directional” empleado en habla anglosajona para este elemento.

| Siglas    | Componente  | Función   | Influye en                |
|-----------|---|---|---------------------------|
| 2.4       | Sensor de proximidad magnético del actuador 1.0 de mínima carrera                     | Señal que interviene en la orden de gobierno de 2.1             | Avance 2.0                |
| 2.3       | Sensor de proximidad magnético del actuador 3.0 de mínima carrera                     | Señal que interviene en la orden de gobierno de 2.1             | Retroceso 2.0             |
| 2.5       | Sensor de proximidad magnético del actuador 4.0 de mínima carrera                     | Señal que interviene en la orden de gobierno de 2.1             | Retroceso 2.0             |
| 3.0       | Cilindro de doble efecto con pistón magnético   | Cilindro portador de mordaza izquierda                          | Sistema                   |
| 3.0.2     | Válvula reguladora de caudal en un único sentido                                      | Regula la velocidad de 3.0                                      | Avance de 3.0             |
| 3.1       | Electroválvula 5/2 monoestable  | Distribuidor de potencia del actuador 3.0                       | Avance y retroceso de 3.0 |
| 4.0       | Cilindro de doble efecto con pistón magnético   | Cilindro portador de mordaza derecha                            | Sistema                   |
| 4.0.2     | Válvula reguladora de caudal en un único sentido                                      | Regula la velocidad de 4.0                                      | Avance de 4.0             |
| 4.1       | Electroválvula 5/2 monoestable  | Distribuidor de potencia del actuador 4.0                       | Avance y retroceso de 4.0 |
| 3.2 / 4.2 | Sensor de proximidad magnético de los actuadores 2.0                                  | Señal que interviene en las ordenes de gobierno de 3.1 y de 4.1 | Avance 3.0 y 4.0          |
| 3.3 / 4.3 | Sensores de proximidad magnético de los actuadores 3.0 y 4.0, ambos de mínima carrera | Señales que interviene en la orden de gobierno de 3.1 y de 4.1  | Retroceso 3.0 y 4.0       |
| 5.0       | Cilindro de doble efecto con pistón magnético   | Cilindro expulsador de pieza                                    | Sistema                   |
| 5.0.2     | Válvula reguladora de caudal en un único sentido                                      | Regula la velocidad de 5.0                                      | Avance de 5.0             |
| 5.1       | Electroválvula 5/2 monoestable  | Distribuidor de potencia del actuador 5.0                       | Avance y retroceso de 5.0 |
| 5.2       | Sensor de proximidad magnético del actuador 2.0 de mínima carrera                     | Señal que interviene en la ordene de gobierno de 5.1            | Avance de 5.0             |
| 5.3       | Sensor de proximidad magnético de los actuadores 5.0 máxima carrera                   | Señal que interviene en la orden de gobierno de 5.1             | Retroceso 5.0             |



javier.bouza@udc.es

Figura 3.3.2.2.1. - Esquema funcional por referencia compuesta de Plegadora industrial

### 3.3.2.2.2 Identificación alfanumérica

En este caso, los símbolos empleados son letras y subíndices numéricos o signos (signos “+” o “-“). Con este método, se identifican y definen el movimiento de los actuadores, la situación de los captadores de información y la acción de la orden de mando sobre los distribuidores de potencia. Al igual que el método anterior, también se estructura el circuito en cadenas de mando que están compuestas de un elemento de trabajo.

En este método de identificación los elementos de trabajo se designan por letras mayúsculas a partir de la letra A siguiendo un orden alfabético y correlativo. Las letras mayúscula se acompañan del signo “+” o del “-” con el objeto de indicar el avance o retroceso, respectivamente, del actuador. Los captadores de información situados sobre los elementos de trabajo se designan por letra minúsculas con subíndices numéricos procurando que los de cada actuador lleven la misma letra con que se ha designado al mismo, afectadas por el subíndice “0” o “1” según este colocados en la posición de reposo o de trabajo, respectivamente. De manera análoga se indican las ordenes de mando sobre los distribuidores de potencia pero utilizando los subíndices “+” o “-“ para indicar que afectan al movimiento de avance o retorno, respectivamente.

En la siguiente figura, a modo de ejemplo, se muestran dos cilindros de doble efecto gobernados por electroválvulas 4/3 biestables y cuyos captadores de información intervendrán en las ordenes de mando sobre sus respectivos distribuidores de potencia.

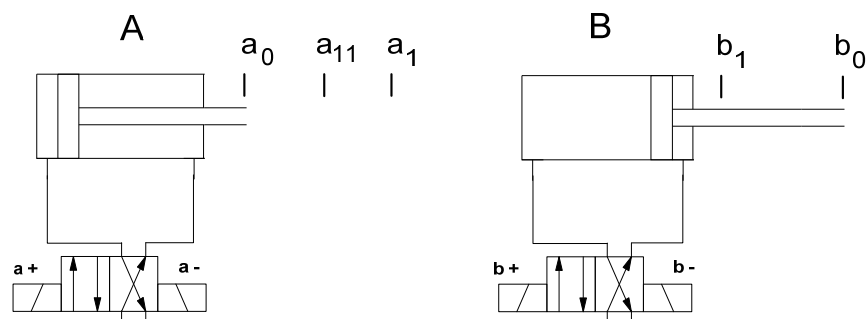


Figura 3.3.2.2.2. - Ejemplo de Identificación alfanumérica de componentes.

De esta representación se interpreta:

- Que existen dos cadenas de mando, A y B. La cadena de mando A esta formada por un actuador, con 3 captadores de información y una electroválvula 4/3 biestable cuyas dos solenoides, de la izquierda y derecha, comanda la posición de avance y retroceso del actuador A, respectivamente. De igual manera, esta formada la cadena de mando B pero, solamente, se dispone de dos captadores de información sobre su actuador.
- Que para el cilindro denominado A su posición inicial es la de mínima carrera y que se dispone de un sensor para registrar esta posición, denominado “a<sub>0</sub>”, y que, por tanto, estará activado en la posición de reposo. Además existen otros dos sensores para referir otras posiciones del actuador A: “a<sub>1</sub>” identificador de máxima carrera y “a<sub>11</sub>” marcador de posición intermedia.
- Que para el cilindro denominado B su posición inicial es la de máxima carrera, y se presenta un sensor “b<sub>0</sub>” para registrar esta situación como posición inicial. Y existe otro sensor “b<sub>1</sub>” que identifica la posición de mínima carrera, que en este caso, es una posición de trabajo.
- Para indicar el movimiento de avance o retroceso del actuador A y B, respectivamente, se emplean los signos “+” y “-”.

A + simboliza avance del actuador A

A - simboliza retroceso del actuador A.

B + simboliza avance del actuador B.

B - simboliza retroceso del actuador B.



Tabla 3.3.2.2.2. - Resumen de símbolos de la Identificación alfanumérica.

| Símbolos   | Significado  |
|--|--|
| Letras mayúsculas del alfabeto excepto Z<br>A, B, C, D, etc.   | <i>Elementos de trabajo.</i>   |
| Letras mayúsculas del alfabeto (excepto Z ) con “+” ó “-”<br>A+, A-, B+, B-, etc.  | <i>Sentido de actuación</i> de los elementos de trabajo.<br>“+” indica movimiento de avance<br>y “-” de retroceso del actuador.  |
| Letras minúsculas con “+” ó “-”<br>a+, a-, b+, b-, etc.  | <i>Ordenes de mando:</i><br>Se indican sobre los accionamiento o pilotaje de los distribuidores de potencia<br>“a +” para movimientos de avance y “a -” de retroceso del actuador A, y así respectivamente.  |
| Letras minúsculas con subíndices.<br>a <sub>0</sub> , b <sub>0</sub> ,..., a <sub>1</sub> , b <sub>1</sub> , ..., a <sub>11</sub> , b <sub>11</sub> , etc. | <i>Captadores de información:</i><br>a <sub>0</sub> , b <sub>0</sub> , c <sub>0</sub> ...Para indicar la posición inicial<br>a <sub>1</sub> , b <sub>1</sub> , c <sub>1</sub> ...Para indicar la posición final.<br>a <sub>1n</sub> , b <sub>1n</sub> , c <sub>1n</sub> ...Para posiciones de trabajo adicional (donde n=1,2,..) |

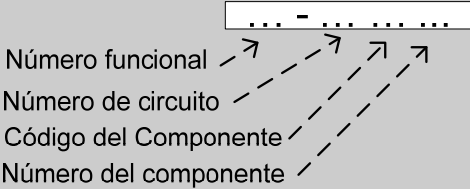
### 3.3.2.2.3 Identificación alfanumérica según norma ISO 1219-2

A continuación, se expone y se comenta un extracto de la norma ISO 1219-2 que trata sobre la forma de identificación de los componentes en los circuitos y diagramas de los sistemas fluídicos de potencia.

Para la identificación de los componentes de un sistema oleoneumático se utilizará un código de identificación, salvo que existiera otro estipulado, al lado de sus símbolos respectivos. Esta identificación será utilizada en todos los documentos interrelacionados (esquemas, diagramas funcionales, etc.)

El formato del código de identificación debe incluir los elementos siguientes y ser rodeado por un rectángulo.

Tabla 3.4.2.2.3. - Resumen de nomenclatura de la Identificación alfanumérica ISO1219-2.

|  |   |
|--|---|
| <i>Número funcional</i>  | Es un número natural, que comenzando por 1, será utilizado en circuitos o diagramas que representan más de una instalación o grupo funcional.   |
| <i>Número de circuito</i>  | Este código esta compuesto por un número entero positivo. Cada circuito se asocia, normalmente, a una cada cadena de mando, y sus componentes llevaran el mismo número de circuito. Se asigna preferentemente el número de circuito 0 a la fuente de alimentación o potencia fluidica, con objeto de identificar un circuito común a varias cadenas de mando. |
| <i>Código del Componente</i>   | Cada componente será identificado por una <b>letra</b> de acuerdo a la siguiente lista:<br><b>Bombas y Compresores: P</b><br><b>Elementos de trabajo o actuadores: A</b><br><b>Accionamientos motrices: M</b><br><b>Sensores: S</b><br><b>Válvulas: V</b><br><b>Otros equipamientos: Z, u otra letra salvo las utilizadas anteriormente.</b>                  |
| <i>Número del Componente</i>   | Es un número natural, comenzando por 1, y correlativo para cada uno de los componente de un circuito.   |

A continuación se indican algunos de los ejemplos expuestos en la norma ISO 1219-2 para entender las normas de identificación.

En la siguiente figura se muestra la esquematización de una planta industrial y su línea de producción que esta formada por 3 grupos funcionales con distintos circuitos dentro de cada uno de ellos. El grupo funcional 1 dispone de los circuitos 1 y 2 (código 1-1 y 1-2), la instalación 2 dispone sólo del circuito 1 (código 2-1) y el grupo funcional 3 dispone de los circuitos 1 y 3 (códigos 3-1 y 3-2)

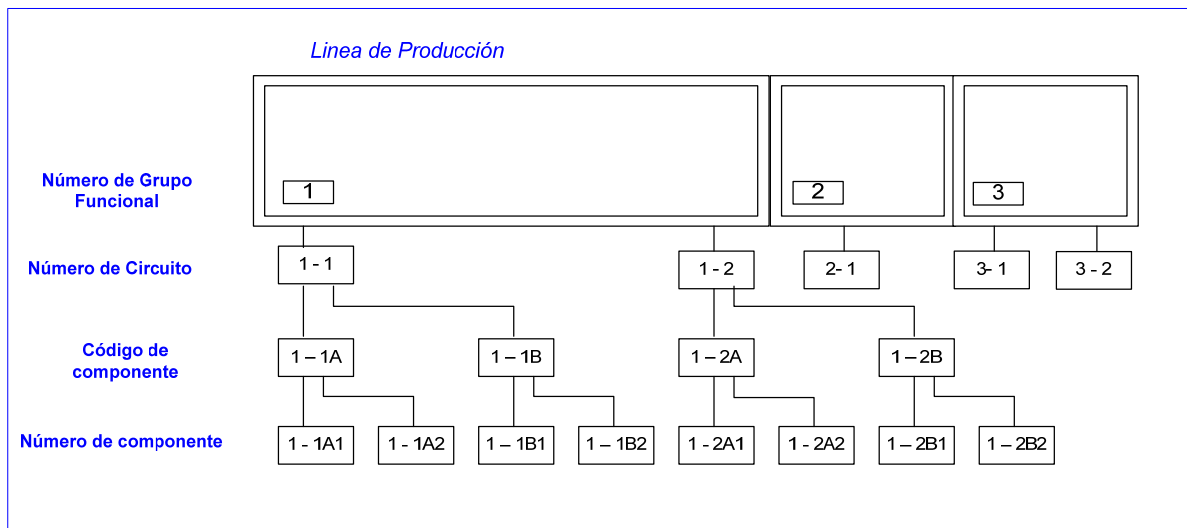


Figura 3.3.2.2.3.1. - Ejemplo de esquematización de planta industrial según ISO 1219-2

A continuación, se ejemplariza la aplicación de este método de identificación en la Plegadora neumática

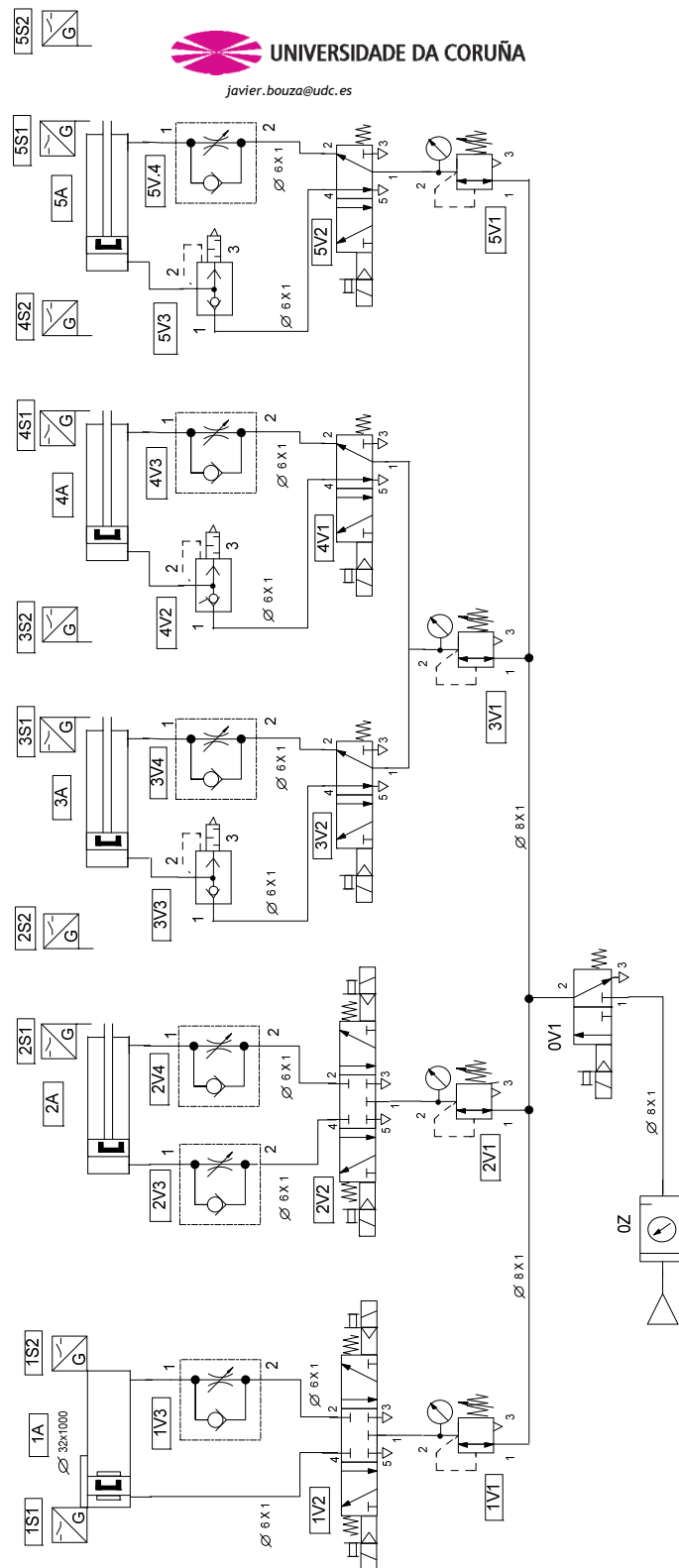


Figura 3.3.2.2.3.2. - Esquema funcional de Plegadora industrial según ISO 1219.

#### 3.3.2.2.4 Identificación por numeración correlativa.

Se trata de ir numerando a los distintos componentes del esquema siguiendo la serie de números naturales 1, 2, 3, 4, etc.

La identificación por numeración correlativa es una técnica recomendable si el sistema es complejo y, especialmente, si el segundo método no se puede aplicar por existir duplicaciones o cuando es problemático aplicar los otros métodos.

#### 3.3.2.3 Descripción en texto.

Es una representación simplificada por escrito de la secuencia que no solamente relaciona el movimiento de los elementos de trabajo sino, también, de elementos de entrada y elaboración de señales. En este caso, los elementos de trabajo se denominan con letras en mayúsculas, los captadores de información en minúsculas con subíndices.

La representación simplificada se puede escribir tanto en vertical como en horizontal. En el caso de que en una etapa o fase acontezcan varios movimientos simultáneamente, éstos se escriben adyacentemente en horizontal para la representación vertical y verticalmente para la representación horizontal. Las condiciones de transición entre dos fases se representan en la derecha o en la parte inferior acompañados de una flecha según se use la representación vertical u horizontal respectivamente. Así, para la plegadora, su representación simplificada será:

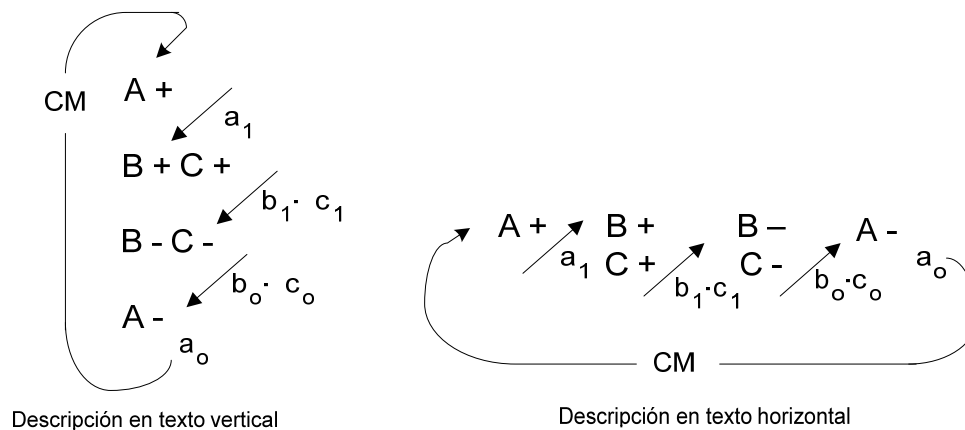


Figura 3.3.2.3. - Ejemplo de descripción en texto de una secuencia

En este ejemplo se distingue una secuencia de cuatro fases o etapas donde, en dos de ellas, se desarrollan dos acciones simultáneas y, en el resto, una. Para iniciar la secuencia es necesario que el captador  $a_0$ , sensor de mínima carrera del cilindro A, y la condición de marcha, designada como “CM” (que puede ser, por ejemplo, un pulsador de marcha), se encuentren activados conjuntamente. Estas dos acciones simultáneas no sólo constituyen el comienzo de la secuencia sino, también, el reinicio de la misma, es decir, la condición de transición de la etapa 4 a la etapa 1. Una vez terminado el movimiento de avance del cilindro A se deberá activar el captador  $a_1$ , de máxima carrera del cilindro A, que dará la orden de que empiece la etapa dos, y por tanto, se producirá el avance, simultáneo, de los cilindros B y C. Cuando ambos alcancen la máxima carrera se activaran los captadores  $b_1$  y  $c_1$ , y sólo en ese momento, se dará la orden de recogida de los cilindros B y C. Cuando los captadores de mínima carrera  $b_0$  y  $c_0$  estén activados, simultáneamente, se ejecutará la acción de recogida del cilindro A. Y finalmente, la secuencia terminará cuando el cilindro A se recoja totalmente, y esto ocurrirá cuando el captador  $a_0$  se active. En este momento, el sistema queda en reposo y con las condiciones iniciales (los tres actuadores en posición de mínima carrera y, en consecuencia, sus captadores  $a_0$ ,  $b_0$  y  $c_0$  activados) para iniciarse, si la “CM” está activada, de nuevo la secuencia.

### 3.3.2.4 Diagramas de funciones.

#### 3.3.2.4.1 Diagrama Espacio/Fase y Diagrama Espacio/Tiempo

Tanto el diagrama Desplazamiento/Fase como el diagrama Espacio/Tiempo son representaciones gráficas e ilustrativas del desarrollo y evolución de los procesos en un sistema oleoneumático. Con estos diagramas, el diseñador define y analiza la secuencia oleoneumática mediante el desarrollo exacto de los movimientos de los elementos de trabajos y de las prescripciones o acontecimientos de los que dependen. Y en este sentido, ambos diagramas efectúan una interpretación única e inequívoca del funcionamiento del sistema. Esto permitirá que no sólo sea un útil imprescindible para el diseñador a la hora de realizar su trabajo sino, también, una información vital que permita una comprensión mutua para el resto de los que participan en la implementación y mantenimiento del sistema oleoneumático.

El diagrama Desplazamiento/Fase se estructura en fases separadas o etapas cuyo conjunto representa una cadencia de movimientos para los elementos de trabajo y que dependen de acontecimientos o prescripciones establecidas. El diagrama Espacio/Tiempo constituye una variante del diagrama Desplazamiento/Fase al remplazar las fases por los tiempos empleados. Y su utilidad se encuentra cuando el tiempo de ejecución de cada fase constituye una variable de consideración en el sistema. Por tanto, su aplicación resulta adecuada en aquellos mandos programables en función del tiempo en tanto que el Diagrama Espacio/Fase lo es para los mandos programables por recorrido o por secuencia. En algunos casos el diagrama Desplazamiento/Tiempo va implícito como una información adicional al diagrama Desplazamiento/Fase al superponer la escala de tiempos a la escala de fases.

La representación normalizada del diagrama de Desplazamiento/Fase viene establecida por la norma VDI<sup>16</sup> 3260. Este diagrama, se sustenta sobre un

---

<sup>16</sup> VDI 3260 Funktionsdiagramme von Arbeitsmaschinen und Fertigungsanlagen / “Verein Deutscher Ingenieure” = Asociación Alemana de Ingenieros.

sistema de coordenadas cartesianas: donde en el eje de abscisas se presentan, equidistantes, las fases o etapas de la secuencia, y adicionalmente, también, los tiempos de las fases. Y en el eje de ordenadas los estados adquiridos por los elementos de trabajo. El diagrama escenifica el estado de cada elemento de trabajo en las distintas fases o etapas de la secuencia así como la relación y sincronización con el resto de los elementos del trabajo del sistema.

Todo diagrama Desplazamiento/Fase debe atenerse a los siguientes puntos:

- 1) El desplazamiento y la duración de cada etapa de los elementos de trabajo no deben dibujarse a escala, sino al mismo tamaño para todos los elementos. Esto implica:
  - (a) Que las distintas fases de cada actuador se representan equidistantes e iguales en tamaño a lo largo del eje de abscisas.
  - (b) La numeración de las fases, a lo largo eje de abscisas, es discrecional. Usualmente se utiliza la numeración decimal.
  - (c) El rango de desplazamiento, en el eje de ordenadas, estará comprendido entre los estados mínimo y máximo que se identificará por los valores binarios “0” y ”1” respectivamente. En el caso de un actuador rotativo con ambos sentidos de giro se añadirá los signos “+“ y “-“ para la identificación del sentido.
  - (d) Que cuando existen varios elementos de trabajos se representan de forma análoga e individualmente, uno debajo de otro. Y se trazan líneas verticales que pasan por los extremos de fases semejantes. Estas líneas auxiliares denominadas líneas de fase son las que establecen la relación y sincronización de todos los actuadores en la secuencia.



- 2) El desplazamiento desarrollado por cada actuador, para cada fase, se representa mediante líneas horizontales y oblicuas. Así, para los actuadores lineales, las rectas horizontales significan reposo y las rectas oblicuas significan movimiento, a su vez, distintas inclinaciones de la rectas implican diferentes velocidades. Para los actuadores giratorios, las horizontales con valor “0” representan estado de reposo y con valor “1” movimiento a velocidad constante, con los signos “+” o “-“ se indica diferentes sentidos de giro, y las líneas oblicuas significan movimientos con aceleración y deceleración.
- 3) Se tienen que detallar todos los emisores de señal que influyen en cada transición de fase para cada actuador.
- 4) La emisión de ordenes se representa dibujando líneas de señal desde el miembro emisor de la señal hasta el punto de salida del movimiento a realizar. El sentido de la flecha indicará la dirección de actuación. Cada línea de señal debe provocar una modificación del estado de al menos un actuador.

Para el diagrama Desplazamiento/Tiempo valen las mismas reglas y símbolos gráficos que del diagrama de Desplazamiento/Fase, con la salvedad de que la escala de fases, en el eje de abscisas, se sustituye por una escala de tiempos donde cada fase se representa proporcional al tiempo empleado.

A continuación, se muestran las distintas posibilidades de representación de los elementos de trabajo a través de ejemplos. Para una mayor concreción se diferencian dos categorías según el tipo de movimiento del órgano de trabajo:

➤ **Actuadores lineales:**

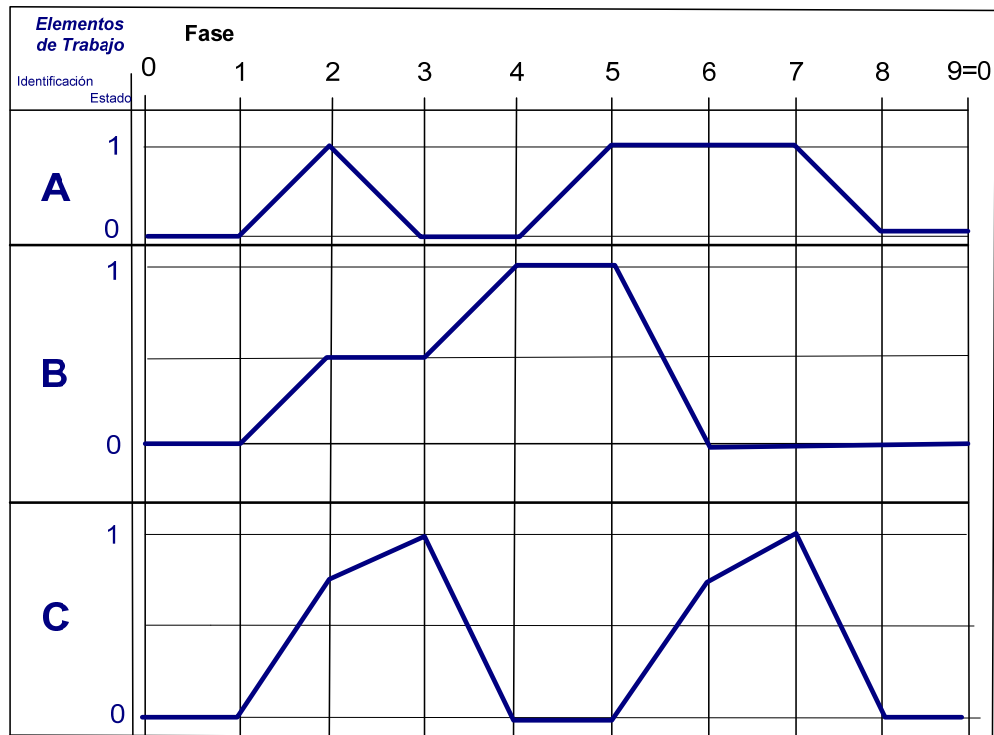


Figura 3.3.2.4.1.1. - Ejemplo del Diagrama espacio-fase de actuadores lineales.

Del diagrama espacio-fase<sup>17</sup> anterior se interpreta:

- 1) Que existen tres actuadores lineales denominados A, B y C. Estos son representados individualmente uno debajo de otro estableciendo su relación por medio de las líneas de fase (líneas auxiliares verticales). El rango de desplazamiento y la duración de cada etapa es común para todos ellos.
- 2) Para el actuador A: durante la fase 1 se realiza un movimiento de avance que termina cuando el actuador ha alcanzado la máxima carrera (estado "1" del eje de ordenadas), en este instante, se inicia la fase 2 produciéndose el retroceso del actuador hasta alcanzar la mínima carrera (estado "0" del eje de ordenadas). De manera análoga

<sup>17</sup> Se excluyen, para una mayor comprensión, los emisores de señal y de órdenes.

en la etapa 4 se realiza, de nuevo, el avance del cilindro y en la etapa 7 el retroceso pero con la diferencia que durante las etapas 5 y 6 permanece en reposo en máxima carrera. En esta primera representación las pendientes similares indican velocidades constantes y semejantes en el avance y en el retroceso del actuador para los dos movimientos. Si bien, no implica la misma velocidad de avance y retroceso si el suministro de caudal es constante.

- 3) En el actuador B: En la Etapa 1 se inicia un movimiento hasta una posición intermedia de carrera, en la etapa 2 se permanece en reposo en esa posición intermedia y durante la Etapa 3 se continúa el avance hasta la posición máxima de carrera. En la Etapa 4, se permanece parado en máxima carrera para finalmente, en la Etapa 5, realizar la recogida del cilindro hasta mínima carrera. Las pendientes similares al avance indican velocidad constante y semejante.
- 4) En el actuador C: En este caso las distintas inclinaciones de las pendientes en el avance del actuador evidencia distintas velocidades de movimiento: así durante la Etapa 1, se produce un acercamiento rápido hasta una posición próxima al final de carrera y, en la Etapa 2, se realizará una aproximación lenta hasta alcanzar el final de carrera y, finalmente en la Etapa 3, se realiza el retorno rápido del cilindro. Este ciclo se repite de nuevo en las Etapas 5, 6 y 7.

➤ *Actuadores rotativos.*

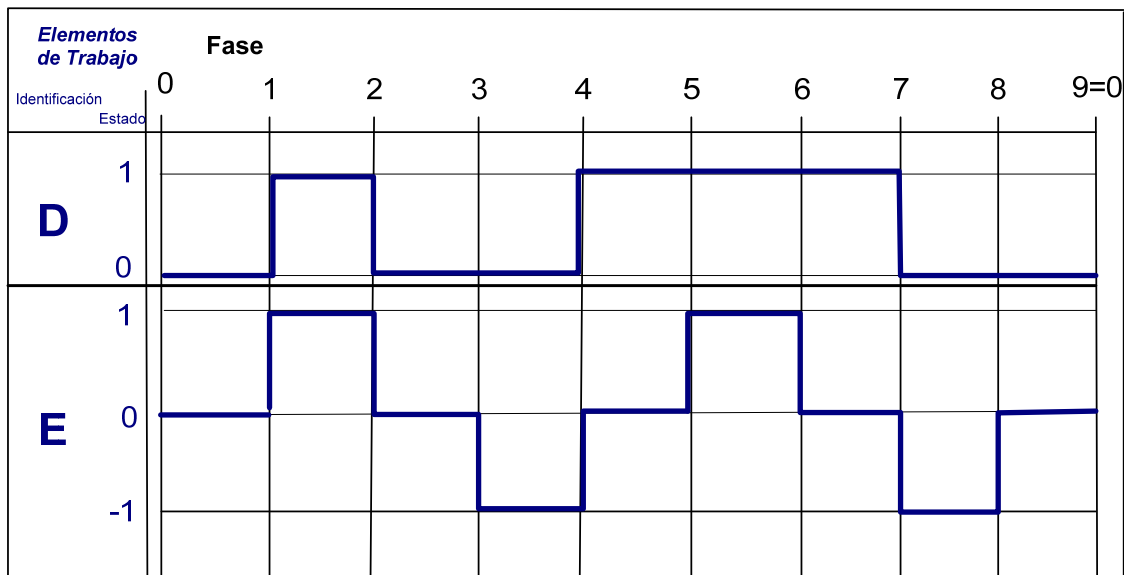


Figura 3.3.2.4.1.2. - Ejemplo del Diagrama espacio-fase de actuadores rotativos.

Del diagrama espacio-fase<sup>18</sup> anterior se interpreta:

- 1) En este diagrama se definen dos actuadores rotativos denominados D, E. Son representados, individualmente, uno debajo de otro estableciendo su relación por medio de las líneas de fase (líneas auxiliares verticales). El rango de desplazamiento y la duración de cada etapa es común para todos ellos.
- 2) El estado “0” en el eje de ordenadas significa que los motores están detenidos.
- 3) El estado “1” en el eje de ordenadas significa que el motor está en movimiento a máxima velocidad. Los signos “+” o “-” se aplican para los diferentes sentidos de giro. Las rectas con valor “0” significan paro y con valor “1” significa movimiento. Además, la representación del desplazamiento no se debe dibujar a escala, sino del mismo tamaño para todos los elementos de trabajo.

<sup>18</sup> Se excluyen, para una mayor comprensión, los emisores de señal y de órdenes.

A los diagramas anteriores, se les añade los emisores de señal y condiciones de accionamiento de las distintas fases. Para ello, se ha definido la siguiente tabla.

Tabla 3.3.2.4.2.1.- Representación de los elementos de señalización.

| Elementos de señalización |                             |         |                 |
|---------------------------|-----------------------------|---------|-----------------|
| símbolo                   | efecto                      | símbolo | efecto          |
|                           | Arranque                    |         | Fin de carrera  |
|                           | Parada                      |         |                 |
|                           | Arranque/Parada             |         | Llave inversora |
|                           | Accionar un pulsador        |         | Llave selectora |
|                           | Automático                  |         | Temporizador    |
|                           | Accionamiento de emergencia |         | Presostato      |

Así, a modo de ejemplo, para la siguiente secuencia cuyas representaciones simplificadas son:

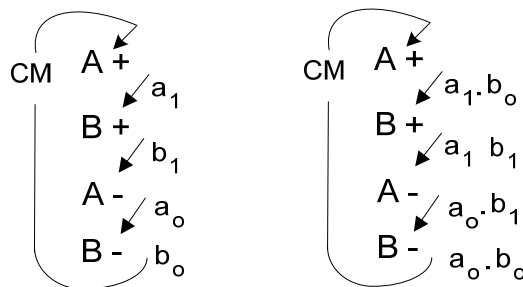


Figura 3.3.2.4.1.3.- Representaciones simplificadas de una secuencia - ejemplo 1.

se muestran sus respectivos diagramas espacio-fase, a los cuales se les añade un nuevo diagrama, el de mando, que contempla el estado de sus entradas.

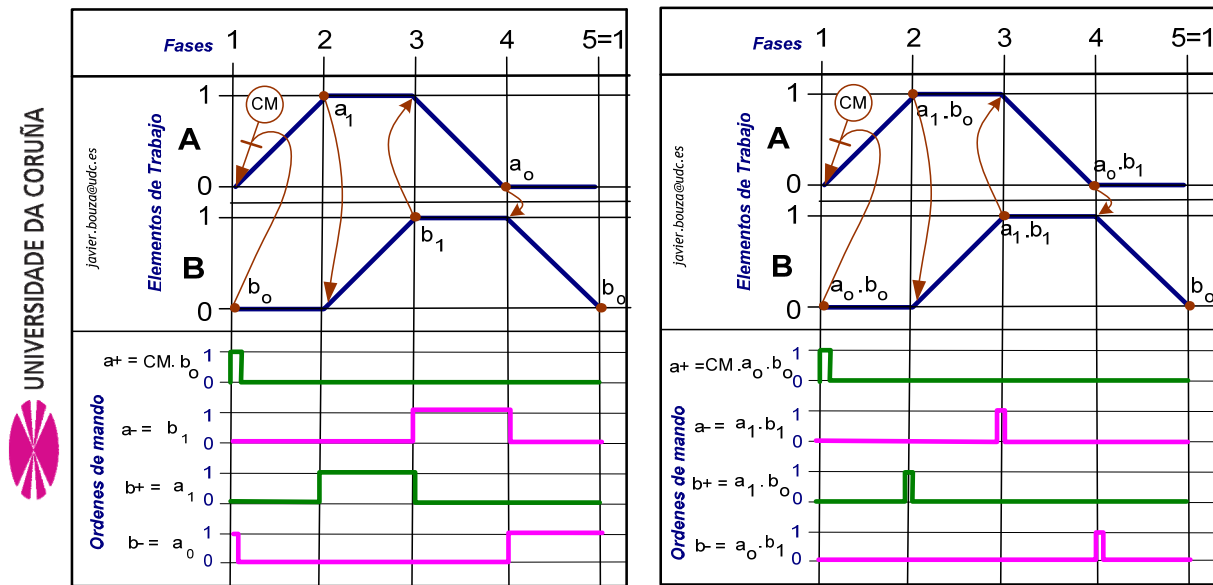


Figura 3.3.2.4.1.4.- Diagramas espacio-fase y de mando de la secuencia -ejemplo1.

En el siguiente ejemplo, se dispone de tres actuadores A, B y C que practican en serie un ciclo completo cada uno. Se emplea un par de sensores de posición (para mínima y máxima carrera) para sendos actuadores. Esto permitirá, por un lado, implementar la secuencia completa mediante la solución apropiada y, por otro, vigilar el correcto funcionamiento del sistema.

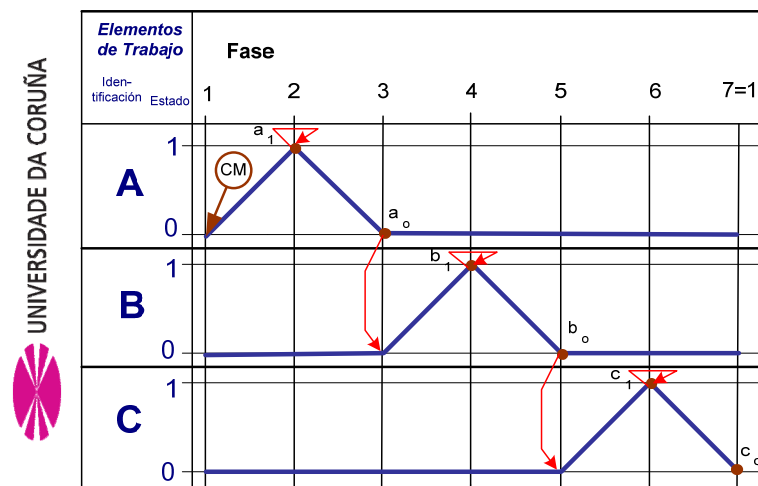


Figura 3.3.2.4.1.5. - Diagrama espacio-fase de la secuencia A+ A+ B+- B- C+ C-

A continuación, se ha añadido al diagrama desplazamiento-fase el diagrama de mando para el estudio de la viabilidad de una posible solución de mando con los sensores que ejecutan la fase.

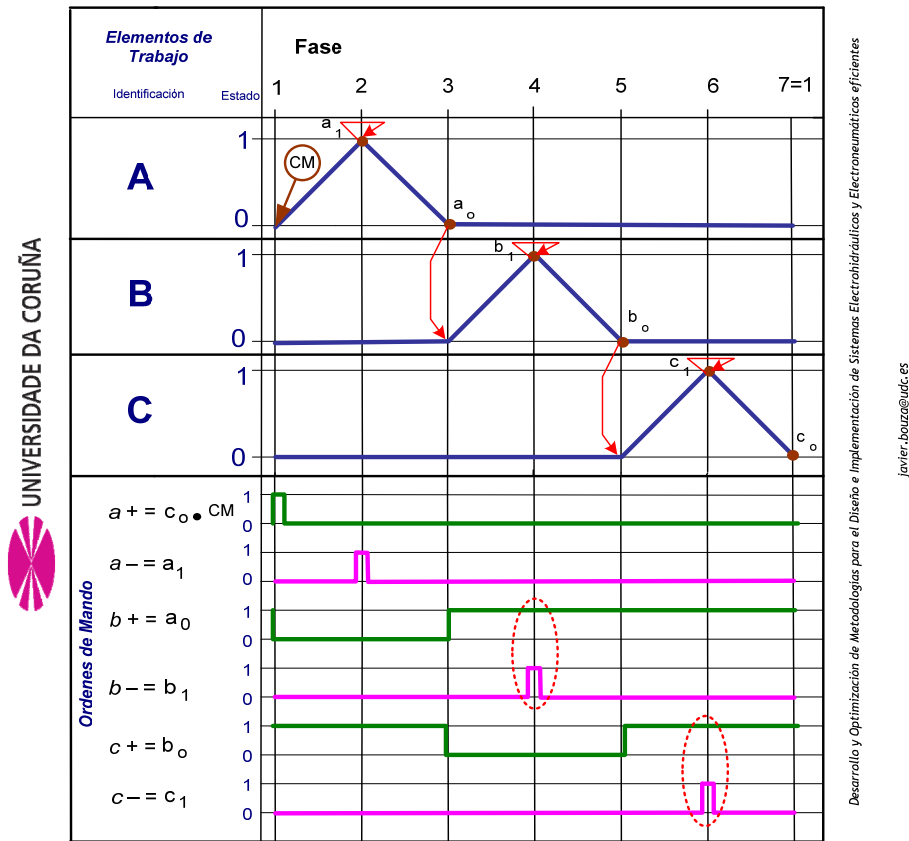


Figura 3.3.2.4.1.6. - Diagrama espacio-fase y de mando de la secuencia A+ A+ B+- B- C+ C-

Como se muestra, el diagrama espacio-fase es una representación gráfica clara y fácilmente comprensible del desarrollo del movimiento de uno o más elementos de trabajo. Y conjuntamente con el diagrama de mando permitirá estudiar las soluciones para el diseño del mando. A lo largo del trabajo de esta Tesis, se demostrará la utilidad de este tipo de representación.

### 3.3.2.4.2 Diagrama simplificado de mando

Es una variante introducida en esta Tesis y que es la fusión del diagrama espacio-fase y de mando, y que se usa como herramienta de estudio de las soluciones de mando de los sistemas oleoneumáticos. Esta herramienta permite un rápido y eficaz análisis de la secuencia y de sus problemáticas. A continuación, se muestra para la secuencia de los tres actuadores A, B y C el análisis de una posible solución.

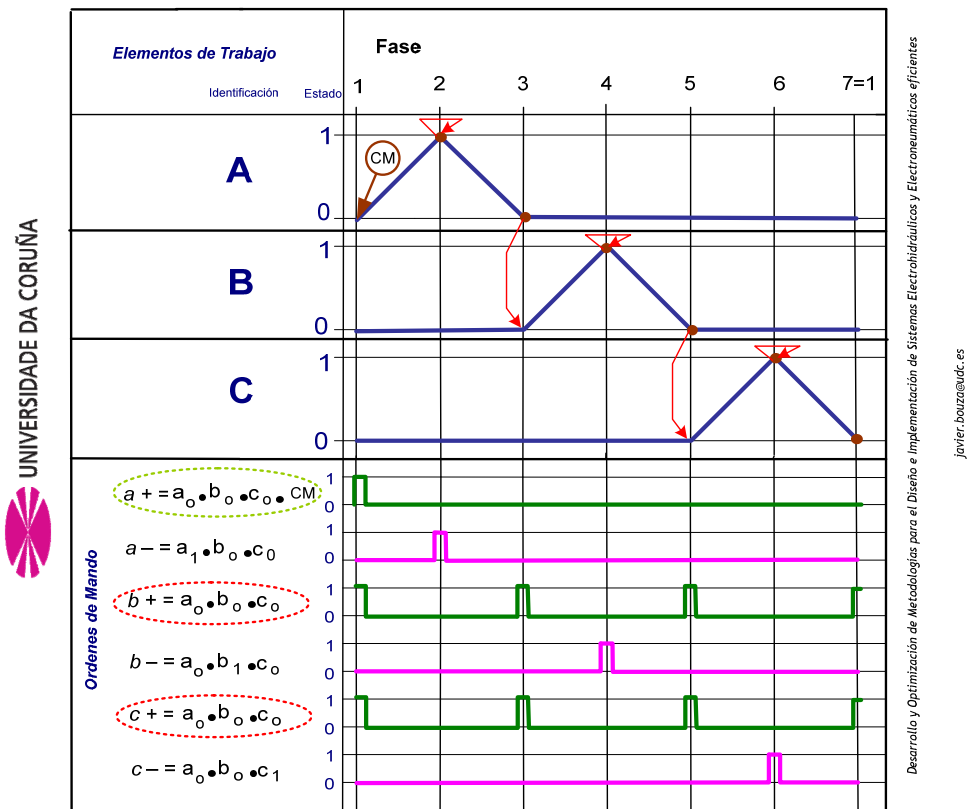


Figura 3.3.2.4.2.1.-Diagrama espacio-fase y de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C-

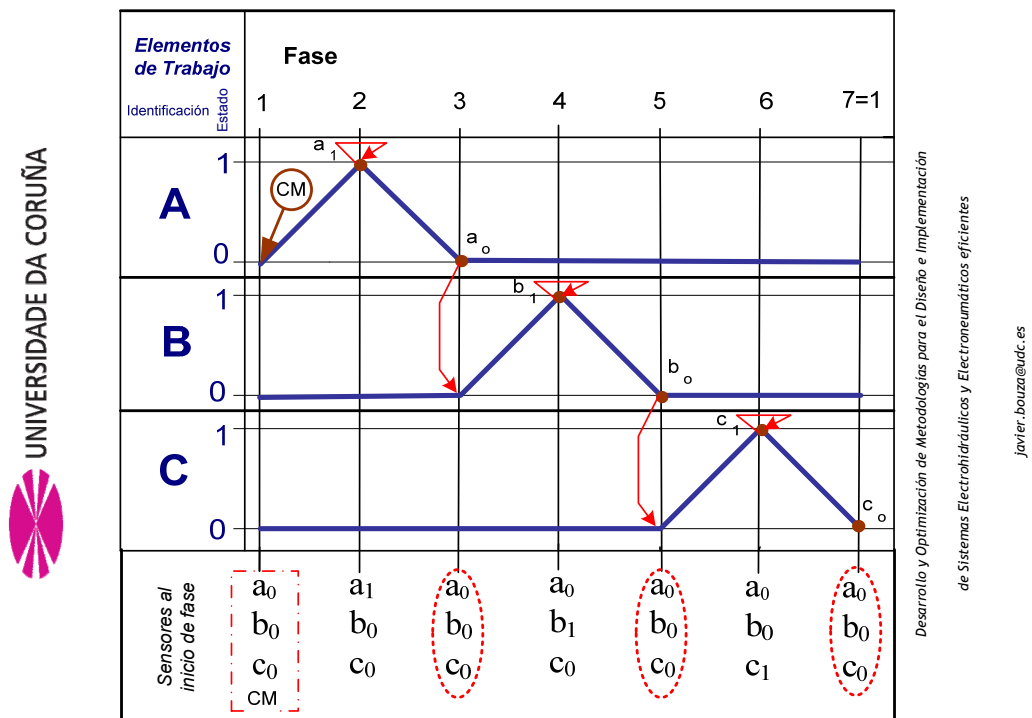


Figura 3.3.2.4.2.2.-Diagrama simplificado de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C-



El empleo del “Diagrama de mando simplificado” garantiza un análisis exhaustivo y rápido de la secuencia y de las problemáticas existentes en el diseño del mando.

### **3.3.2.5 Grafcet, un lenguaje específico de funcionamiento.**

#### **3.3.2.5.1 Introducción**

Como se ha comentado anteriormente, el desarrollo de un sistema automatizado necesita, en particular, una descripción relacionando causa y efecto. Para hacer esto, se describe la parte lógica del comportamiento deseado del sistema, que es la parte secuencial o secuencia del sistema. La secuencia del sistema está caracterizada por sus variables de entrada, sus variables de salida y su comportamiento. El comportamiento indica el modo en que las variables de salida dependen de las variables de entrada. El objetivo del método Grafcet, en el diseño del sistema oleoneumático automatizado, no sólo es especificar el comportamiento deseado del sistema sino que permita, al diseñador, implementar el control y la parte operativa del mismo.

El método de análisis y diseño gráfico GRAFCET<sup>19</sup> (GRÁfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones) fue desarrollado en el año 1977 por la comisión de normalización francesa AFCET20 permitiendo traducir a un lenguaje claro y normalizado la mayoría de las automatizaciones industriales. Fue posteriormente la asociación ADEPA<sup>21</sup> la encargada de estandarizar el método original y de dar forma a las propuestas de normas francesas e internacionales. Actualmente, es

---

<sup>19</sup> “Graphe de Commande Etape-Transition” – “Graph for Step-Transition Control”

<sup>20</sup> Association Francaise pour la Cibernétique Economique et Technique, asociación actualmente extinguida. Una comisión ad-hoc constituida por 12 académicos e investigadores y 12 representantes de la industria (Telemecánica, Merlin-Gerín,..) firmaron el informe final Grafcet “Graphe de Commande Etape-Transition” en el año 1977

<sup>21</sup> Agence Nationale pour le **DE**veloppement de la **P**roduction **A**utomatisée

un lenguaje específico estandarizado por la norma internacional IEC 60848<sup>22</sup>, que permite hacer un modelo del proceso a automatizar, contemplando entradas, acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones. Además la ADEPA ha generado una serie de útiles metodológicos, entre los que destaca la GEMMA<sup>23</sup>, para apoyar el GRAFCET como método no sólo descriptivo, sino como herramienta de diseño.

Este lenguaje funcional se caracteriza por sus elementos gráficos y unas reglas de evolución que reflejan la dinámica del comportamiento del sistema. Así, el Grafcet permite diseñar diagramas que proporcionan una representación, gráfica y sintetizada, del funcionamiento secuencial de los sistemas. Esta representación integra:

- una estructura, que permite describir las posibles evoluciones entre las situaciones,
- una interpretación, que permite establecer la relación entre las variables de entrada, salida y la estructura (esta interpretación se rige por normas de evolución, asignación y distribución).

El Grafcet en el diseño de los sistemas oleoneumáticos automatizados permite un enfoque estructurado y jerárquico del problema. Eliminando desde el principio gran número de errores y descuidos, permitiendo una fácil y cómoda ampliación o modificación posterior. Sin olvidar, que el documento final será fácilmente e internacionalmente comprensible para cualquier persona que no haya participado en la concepción o en la realización del sistema.

#### 3.3.2.5.2 Descripción del método Grafcet.

El GRAFCET es, como se ha comentado, un modelo de representación gráfica de funcionamiento de un sistema automático. Dicho modelo, está

---

<sup>22</sup> IEC 60848 “GRAFCET specification language for sequential function charts”.

<sup>23</sup> “ Guide d’Étude des Modes de Marche et Arrêt”

definido basándose en los siguientes elementos y reglas de evolución que a continuación se resumen.

**Etapas:**

Una etapa corresponde a una situación en la cual, el comportamiento de todo o parte del sistema, en relación a sus entradas y salidas, es invariable. Hay que indicar que en cada etapa la relación entre sus entradas y sus salidas es puramente combinacional, o lo que es lo mismo, cada etapa debe corresponder a una situación tal que sus salidas dependan únicamente de sus entradas. Por tanto, la etapa es una situación del sistema que indica un comportamiento estable.

Una etapa puede estar activa o inactiva, pudiendo estar varias etapas simultáneamente activas, de tal forma, que el sistema se define en el tiempo por el conjunto de etapas activas en el instante considerado. *En este sentido, el concepto etapa es diferente al concepto de fase empleado en el Diagrama espacio-fase puesto que cada fase define todos los estados posibles del sistema en un instante dado.*

Las etapas se representan mediante un cuadro numerado en su parte superior y eventualmente una etiqueta, disponiendo la entrada o entradas por la parte superior, y la salida o salidas por la parte inferior. Con una finalidad aclaratoria de distinguir la etapa o etapas que están activas, en un instante dado, se puede marcar sus cuadros con un punto en su interior. Esto le confiere un carácter dinámico a esta representación funcional estática, Grafcet, del conjunto de situaciones posibles del sistema.




Se denominan etapas iniciales aquellas en que se posiciona el sistema al iniciarse el proceso por primera vez, e indican el punto de partida para la lectura del Grafcet. Las etapas iniciales se representan mediante un cuadrado de doble línea.






A cada etapa, se le puede asociar unas acciones a efectuar sobre el sistema y que se llevarán a cabo cuando se activa la etapa. Estos eventos

asociados a una etapa, acciones, se describen en el interior de rectángulos situados a la derecha de la etapa y unidos a ésta por un segmento horizontal. Atendiendo al elemento al que se dirige la acción u orden, esta puede ser:

- Interna: cuando se desarrolla en el propio bloque de procesamiento de señales del sistema de control (temporización, conteo, operaciones de cálculo, etc.).
- Externa: cuando se destina al resto: parte operativa, panel de control y a todos los dispositivos externos al sistema de control

Tabla 3.3.2.5.2.1. - Símbolos del Grafcet: Etapas.

| Número | Símbolo   | Descripción  |
|--------|---|--|
| [1]    |  | <p><b>Etapa:</b> en un momento dado, una etapa esta activa o inactiva. El conjunto de etapas activas define la situación del sistema dado en un instante considerado.</p> <p>La proporción de alto-ancho del rectángulo es arbitraria, por lo que se recomienda un cuadrado</p> <p>Con el fin de identificarlos, las etapas deben llevar una marca, por ejemplo, alfanumérica. La marca asignada al paso estará remplazada por un asterisco en la parte media superior del símbolo general.</p> <p>Ejemplo 1: “Etapa 2”</p>  <p>Nota. Puede ser útil indicar que pasos están activados en un momento dado marcando dichos pasos con un punto. Este punto no forma parte del símbolo del paso se usa con fines explicativos.</p> <p>Ejemplo 2 “La etapa 3 está activada”</p>  |
| [2]    | X*  | <p><b>Variable de etapa:</b> el estado activo o inactivo de la etapa puede representarse por los valores lógicos “1” o “0” respectivamente de una variable booleana X*, en donde el asterisco se reemplazará por la marca de la etapa relevante.</p> <p>Ejemplo: “La variable de etapa de la Etapa 8” X8</p>   |

| Número | Símbolo   | Descripción   |
|--------|---|---|
| [3]    |  | <b>Etapa inicial:</b> este símbolo significa que esta etapa participa en la situación inicial.<br>Nota 1. Se aplican las normas del símbolo 1.<br>Nota 2. Un paso inicial puede ser “inestable”.<br>Ejemplo: “Etapa inicial 12” |
|        |   |   |
| [4]    |  | <b>Paso cerrado:</b> este símbolo indica que este paso contiene otros pasos a los que nos referimos como pasos cerrados.<br>Nota 1. Se aplican las normas del símbolo 1.  |
| [5]    |  | <b>Paso cerrado inicial:</b> este símbolo significa que este paso cerrado participa en la situación inicial.<br>Nota. Un paso cerrado inicial contiene al menos un paso inicial cerrado.  |
| [6]    |  | <b>Macro-paso:</b> es la única representación de una parte detallada del gráfico funcional a la que nos referimos como expansión del macro-paso.  |

### **Transiciones y receptividad:**

Un sistema secuencial de mando correctamente concebido, no debe modificar de forma aleatoria los eventos o acciones que desarrolla, sino que los hará como consecuencia de la información que recibe tanto de las variables externas, como de las variables internas relacionadas con la etapa o etapas en el que se encuentra. A partir de una determinada etapa, la evolución a otra será producida por el cambio de información de las variables de entrada, o como respuesta a una orden de sincronización, pero el sistema en cada etapa sólo será receptivo a determinadas combinaciones de variables. De los anteriores planteamientos surgen los conceptos de transición y receptividad, que en palabras de AFCET: “Las transiciones indican la posibilidad de evolución entre etapas. A cada transición se asocia una condición lógica llamada “receptividad” que permite distinguir de entre todas las informaciones disponibles, sólo

aquellas que son susceptibles en un momento dado de hacer evolucionar la parte de mando”<sup>24</sup>. Por tanto, podemos definir los conceptos:

- 1) *Transición*: como las posibilidades de evolución entre etapas y que mostrará el cambio o cambios posibles que acontecerá en el sistema para un estado estable dado si la receptividad es verdadera.
- 2) *Receptividad*: como el conjunto de condiciones lógicas asociadas a las transiciones que permiten a partir de su cumplimiento la evolución del sistema.

Sí es importante indicar, que la receptividad es independiente de las condiciones lógicas que se puedan imponer a las acciones asociadas a las etapas.

Las transiciones se representan mediante un trazo perpendicular a línea que une las etapas, denominada, enlace o línea de evolución

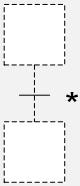
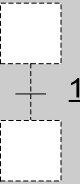
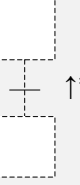
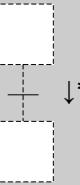

Tabla 3.3.2.5.2.2.- Símbolos del Grafcet: Transición.

| Número | Símbolo | Descripción   |
|--------|---------|---|
| [7]    |         | <b>Transición</b> de una etapa a otra: una transición está representada por un trazo perpendicular en la línea que une dos etapas.<br>Nota 1. Se permite la transición cuando la etapa inmediatamente anterior esta activado.<br>Nota 2. Solo es posible una única transición entre dos pasos.<br>Nota 3. Es posible, por razones de representación grafica, ubicar las transiciones en enlaces o líneas de evolución horizontales. |
| [8]    |         | <b>Designación de una transición</b> : la transición puede tener una designación, generalmente situada a la izquierda, que no debe ser confundida con la condición de transición asociada o receptividad.<br>En la transición se reemplazará el asterisco por una marca alfanumérica.   |
| [9]    |         | <b>Sincronización</b> previa y/o posterior a una <b>transición</b> : cuando varias etapas están conectadas a la misma transición, las líneas de evolución desde y/o hacia estos pasos agrupados, se continúa o precede la transición con dos líneas horizontales paralelas.   |

<sup>24</sup> Traducción del artículo “Grafcet, a function chart for sequential processes” de la revista “Automatisme” (Marzo y Abril de 1997)

La receptividad puede describirse o bien de forma literal o bien en forma de expresión booleanas pero, siempre, a la derecha de la transición.

Tabla 3.3.2.5.2.3. - Símbolos del Grafcet: Receptividad.

| Número | Símbolo   | Descripción   |
|--------|---|---|
| [13]   |    | <b>Receptividad:</b> una proposición lógica, que puede ser verdadera o falsa, y esta asociada con cada transición. Si existe su variable lógica correspondiente, es igual a 1 cuando la receptividad es verdadera o igual a 0 cuando la receptividad es falsa. La proposición lógica que forma la condición de transición comprende una o varias variables booleanas (variables de entrada, variable interna, valor predicado, etc.). El asterisco se reemplazará por la descripción de la receptividad en forma de texto, de una expresión booleanas, o bien usando símbolos gráficos.   |
| [14]   |   | <b>Transición sin condiciones:</b> el símbolo “1” significa que receptividad es siempre verdadera.<br>Nota. En este caso, la evolución es momentánea, la evasión de la transición solo esta condicionada por la actividad del paso previo.  |
| [15]   |  | <b>Flanco ascendente de una variable lógica:</b> el símbolo “↑” significa que la receptividad es verdadera solo en el cambio de estado de la variable en margen creciente (cambio del valor 0 al valor 1). Este símbolo es general y se aplica a todas las proposiciones lógicas, bien sea para una variable elemental o para un conjunto de variables booleanas.   |
| [16]   |  | <b>Flanco descendente de una variable lógica:</b> el símbolo “↓” significa que la condición de transición es verdadera solo en el cambio de estado de la variable en margen decreciente (cambio del valor 1 al valor 0). Este símbolo es general y se aplica a todas las proposiciones lógicas, bien sea para una variable elemental o para un conjunto de variables booleanas.   |
| [17]   |  | <b>Receptividades temporizadas:</b> la notación “t1/*t2” indica que la condición de transición solo es verdadera después de transcurrir el tiempo t1 a partir de el flanco ascendente (↑*) de la variable limitada de tiempo y vuelve a ser falsa después del tiempo t2 debido a la incidencia del margen decreciente (↓*). Se reemplazará al asterisco por una variable de tiempo de retraso, por ejemplo un paso variable o una entrada variable. Se reemplazarán t1 y t2 por sus valores reales expresados en la unidad de tiempo seleccionada. La variable de tiempo de retraso debe permanecer real por un periodo igual o mayor que t1 para que la condición de transición sea verdadera. |

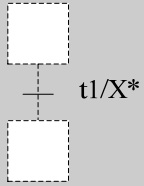
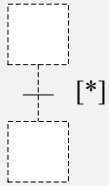


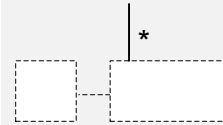
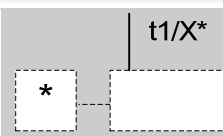
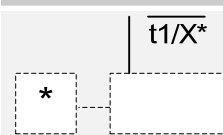
| Número | Símbolo   | Descripción   |
|--------|---|---|
| [18]   |  | <p><b>Simplificación frecuente</b> del símbolo 17: habitualmente se utiliza para retrasar a la variable de paso durante un tiempo <math>t_2</math> igual a 0. Entonces, la condición de transición se vuelve falsa desactivando el paso * que activó el retraso.</p> <p>El asterisco se reemplazara por la marca del paso ya que es necesario para que se retrase.</p> <p>El paso de tiempo de retraso debe permanecer activo durante un tiempo igual o mayor que <math>t_1</math> para que la condición de transición sea verdadera.</p> <p>Esta notación se puede usar cuando el paso de tiempo de retraso no es el paso previo de la transición.</p> |
| [19]   |  | <p><b>Valor booleano de un predicado:</b> “[*]” indica que una variable booleana de un predicado constituye la variable de la receptividad. Por lo tanto cuando se verifica la afirmación *, el predicado tiene el valor 1, de lo contrario el predicado tiene un valor de 0.</p> <p>El asterisco se reemplazara por la afirmación que debe estar probada.</p> <p>La variable booleana del predicado puede estar asociada a otras variables lógicas para constituir una proposición lógica de la condición de transición.</p> <p>Nota. La forma de la afirmación no viene impuesta; por ejemplo poder utilizar un lenguaje literal</p>                  |

Tabla 3.3.2.5.2.4. - Símbolos del Grafcet: Acciones.

| Numero | Símbolo   | Descripción   |
|--------|---|---|
| [20]   |  | <p><b>Acción continua:</b> una acción continua esta asociada necesariamente con un paso. Se pueden asociar varias acciones a un solo paso.</p> <p>La proporción ancho-alto es arbitraria sin embargo se recomienda un rectángulo con una altura igual a la del paso.</p> <p>En ausencia de una simbolización explícita de una acción de reserva el símbolo rectangular general se asocia con un paso siempre que designe a una acción continua.</p>   |
| [21]   |  | <p><b>Marca de asignación de una salida:</b> cada acción debe tener una marca en el interior del rectángulo, referido a esta acción. La marca de una acción continua es la denominación de una variable de salida asignándole el valor verdadero de acuerdo con la regla de asignación.</p> <p>El asterisco se reemplazara por la formulación de la variable de salida.</p> <p>La expresión textual de la marca puede tener una forma imperativa o indicada, el único punto importante es la referencia a la salida.</p> <p>El orden en el que se representan las acciones está representado lo que no implica alguna secuencia entre las acciones.</p> |




| Numero | Símbolo   | Descripción  |
|--------|---|--|
| [22]   |  | <p><b>Condición de asignación:</b> una proposición lógica, llamada condición de asignación, que puede ser verdadera o falsa, influye en alguna acción continua. La ausencia de notación indica que la condición es siempre verdadera.</p> <p>El asterisco debe reemplazarse por una descripción en formato de texto de la condición de asignación, o una expresión booleana entre las variables de entrada y/o las variables internas.</p> <p>Esta condición de asignación nunca incluirá un margen de variable (ver símbolos 15 y 16), porque la acción continua claramente no está memorizada, una asignación en todo caso no tiene significado.</p> |
| [24]   |  | <p><b>Acción retrasada:</b> la acción retrasada es una acción continua en la que la condición de asignación es verdadera solo tras el tiempo específico t1 desde la activación del paso asociado *, con el objetivo de retrasar la asignación del valor verdadero de la correspondiente salida.</p>  |
| [25]   |  | <p><b>Acción limitada de tiempo:</b> la acción limitada de tiempo es una acción continua en la que la condición de asignación es verdadera durante un periodo de tiempo específico t1 desde la activación del paso asociado *, para limitar la duración de la asignación del valor verdadero de la salida correspondiente.</p>   |

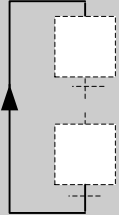

### Enlaces o líneas de evolución<sup>25</sup>

Son las líneas que unen entre sí las etapas que representan actividades o estados consecutivos y que definen la trayectoria de evolución de la secuencia.

Tabla 3.4.2.5.2.5. - Símbolos del Grafcet: Enlace.

| Número | Símbolo   | Descripción  |
|--------|---|--|
| [26]   |  | <p><b>Enlace directo desde la parte superior a la inferior:</b> las trayectorias de evolución entre los pasos se indican mediante enlaces que conectan pasos a transiciones y transiciones a pasos. Los enlaces directos son horizontales o verticales. Los enlaces diagonales solo se permiten en raros casos cuando mejoran la visión del gráfico.</p> <p>Se permiten los cruces entre enlaces verticales y horizontales si no existe relación entre esos enlaces. En consecuencia dichos cruces deben evitarse cuando los enlaces pertenezcan a la misma evolución.</p> |

<sup>25</sup> También utilizada la acepción “arcos dirigidos” o “arcos”.

| Número | Símbolo   | Descripción  |
|--------|---|--|
| [27]   |  | <b>Enlace directo desde la parte inferior a la superior:</b> por convenio, la dirección de esta evolución es siempre desde la parte superior a la inferior. Deben utilizarse las flechas si no se respeta este convenio o si su presencia permite que se entienda con más claridad.          |
| [28]   |  | <b>Marca de conexión:</b> si se tiene que romper un enlace directo (por ejemplo en gráficos complejos o cuando un gráfico abarca varias paginas) se debe indicar el numero del paso de destino y el numero de la pagina donde aparece. El asterisco se reemplazará por la marca de conexión. |

Resumiendo, para realizar el programa correspondiente a un ciclo de trabajo en lenguaje GRAFCET, se deberán tener en cuenta los siguientes principios básicos:

- Se descompone el proceso en etapas que serán activadas una tras otra.
- A cada etapa se le asocia una o varias acciones que sólo serán efectivas cuando la etapa esté activa.
- Una etapa se activa cuando se cumple la condición de transición y está activa la etapa anterior.
- El cumplimiento de una condición de transición implica la activación de la etapa siguiente y la desactivación de la etapa precedente.
- Nunca puede haber dos etapas o condiciones consecutivas, siempre deben ir colocadas de forma alterna.

A continuación, se ejemplariza el Grafcet con la Plegadora neumática y se compara con la representación simplificada.

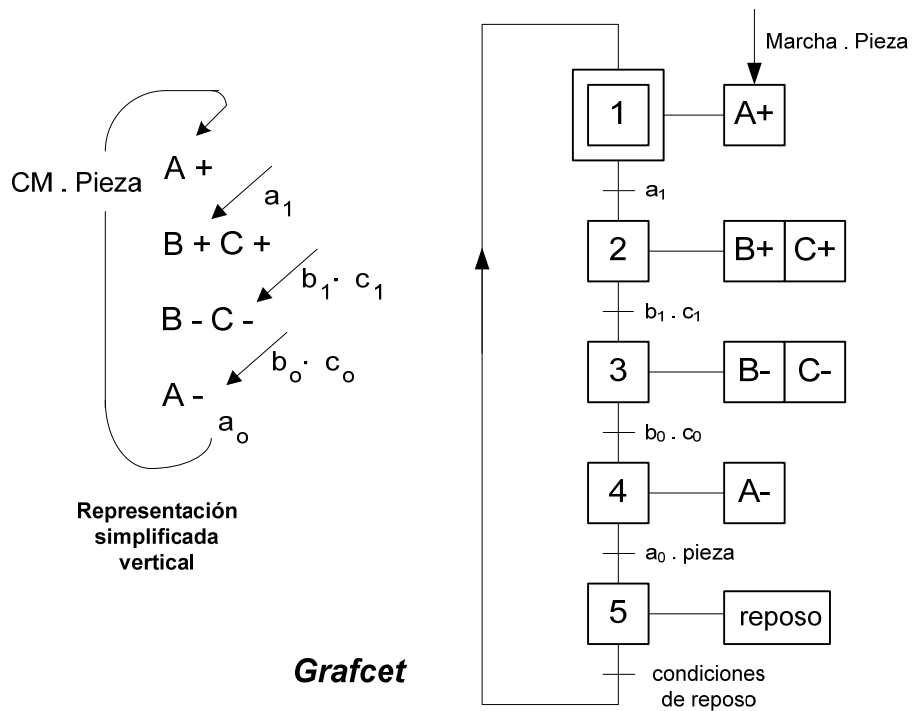


Figura 3.4.2.5.2.1. - Comparativa Grafset y representación simplificada: Plegadora.

El siguiente ejemplo, es un Paletizador neumático que sitúa 3 piezas y cuyo croquis muestra su funcionamiento.

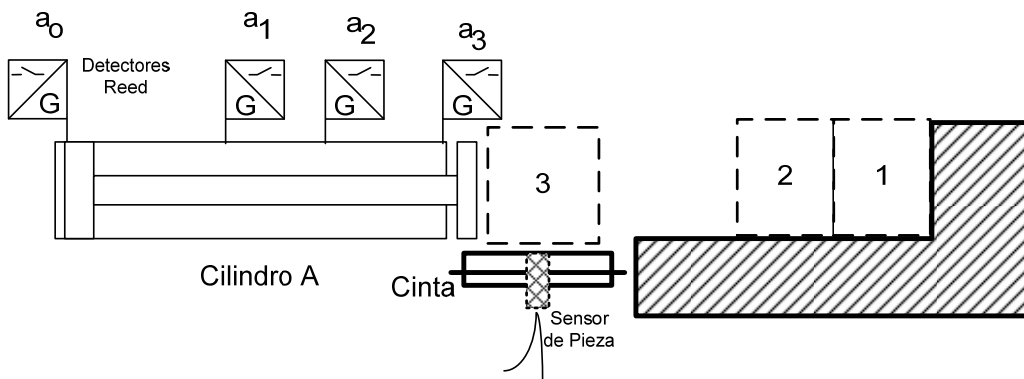


Figura 3.4.2.5.2.2. - Croquis Paletizador neumático.

Su Grafset es el siguiente y se compara con la representación simplificada.

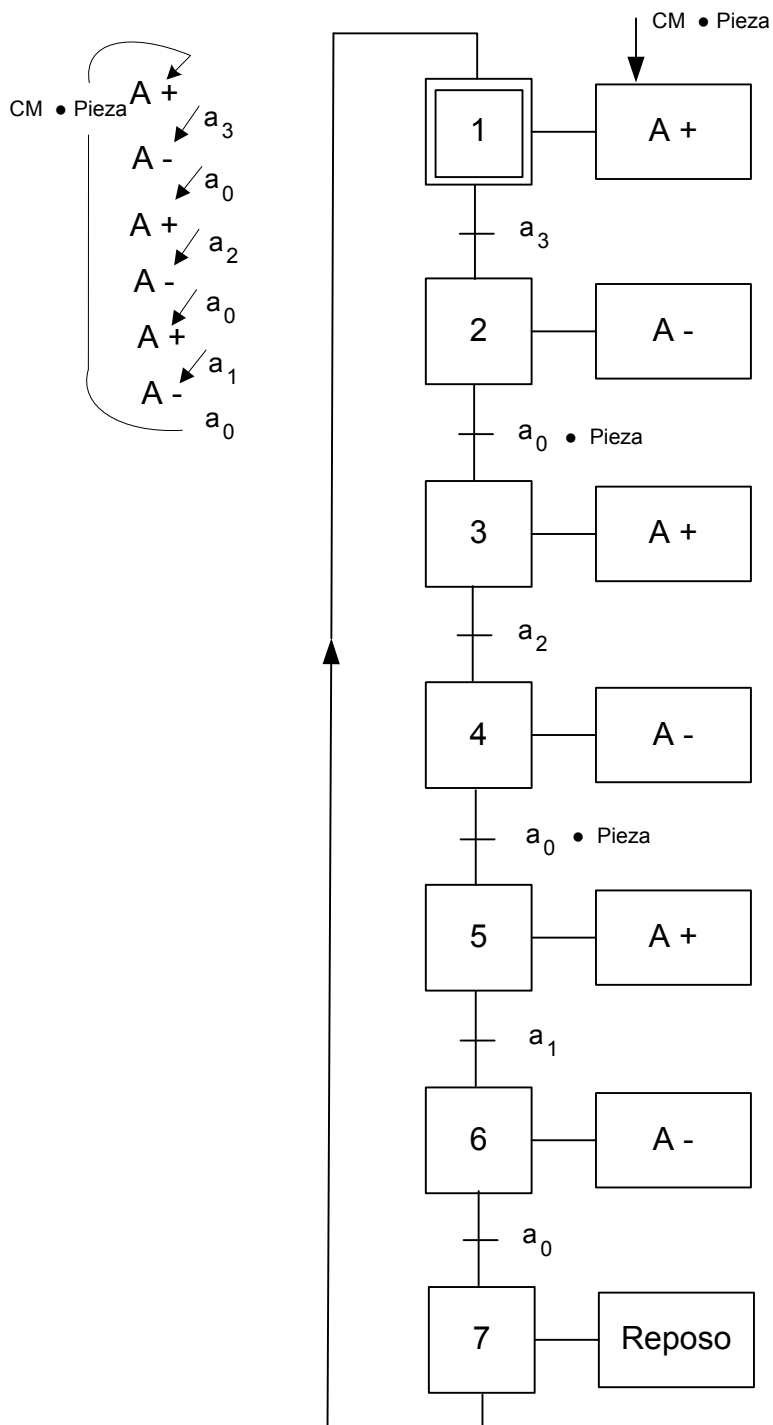


Figura 3.4.2.5.2.3. - Comparativa Grafpet y representación simplificada: Paletizador.

### 3.3.3 Condiciones de Operatividad y de Seguridad y modos de Señalización

#### 3.3.3.1 Introducción

Los programas de control del subsistema de mando programable son de vital importancia debido a que constituyen el medio para controlar el proceso. Interpretan y reproducen el algoritmo que describe y detalla el funcionamiento del sistema oleoneumático. Además, contienen:

- Las funciones de control para el paro y la marcha. En esta tesis, el órgano de marcha y a sus condiciones se le designará genéricamente con el calificativo de “Condición de Marcha” o abreviadamente “CM”.
- Distintos modos de operación como los requeridos para el funcionamiento continuo, para el ajuste de componente/sistemas, etc.
- Las condiciones de seguridad (p.ej. detectores de presencia humana, barreras,...), así como los procedimientos después de que se haya producido una emergencias o situación de fallo o de dificultad en el funcionamiento.
- Indicaciones de funcionamiento, señales de advertencia, fallo y de peligro. Si bien, será el interface hombre-maquina, “HMI”, el encargado de que estas señales se transmita al operador.

#### 3.3.3.2 Condiciones de Operatividad y de seguridad.

Estas condiciones tienen por objeto:

- (1) *Garantizar la seguridad de las personas y de sus componentes.*
- (2) *Mantener la capacidad funcional de las máquinas.*
- (3) *Facilitar el mantenimiento de las máquinas.*

El programa de control diseñado debe permitir cumplir con tales objetivos y, por tanto, serán premisas básicas y necesarias en los métodos desarrollados a lo largo de esta Tesis.

A continuación, se definen las funciones de control, normalmente, empleadas y que posibilitan alcanzar dichas premisas.

**Condición de marcha o arranque:** La puesta en marcha de una máquina oleoneumática, sólo debe ser posible si se encuentra en su estado o posición inicial y si todos los dispositivos de protección están conectados y se hallan completamente operacionales. Como se ha indicado, en esta Tesis, se utilizará las siglas “CM” para indicar tal condición.

**Condición de parada:** Como puede ser debida a diferentes causas, se distinguen tres categorías en la condición de parada:

Tabla 3.3.3.2.1.- Categorías en la Condición de parada.

| Categoría | Descripción  |
|-----------|--|
| 0         | “Parada incontrolada”, es una parada de la máquina como resultado de un fallo en la tensión de alimentación de los distribuidores de potencia del sistema.   |
| 1         | Parada controlada, en la que la alimentación de potencia a la máquina se mantiene para alcanzar la detención. Una vez se ha alcanzado la posición de parada, se interrumpe la tensión de alimentación. |
| 2         | Parada controlada, durante la cual se mantiene la alimentación de potencia de los distribuidores de potencia de la máquina.  |

Es importante resaltar los siguientes requerimientos sobre la condición de parada:

- 1) Las condiciones de paro siempre tienen prioridad sobre las funciones de marcha que se hallen disponibles simultáneamente.
- 2) La eliminación de la condición de paro no debe generar ninguna condición de riesgo humano ni deterioro o malfuncionamiento del sistema oleoneumático.

- 3) Un paro de las categorías 0 y 1 debe ser capaz de actuar independientemente del modo de funcionamiento.
- 4) Un paro de categoría 0 tiene la prioridad más alta sobre las funciones de control y modos de operación.
- 5) Cada máquina o sistema oleoneumático debe estar equipado de una parada de categoría 0 y, frecuentemente, se realiza a través de la Parada de emergencia.
- 6) Los paros de categoría 1 y 2 deben habilitarse en aquellos casos en que hay razones funcionales o de seguridad, y generalmente, se realizan por medio del programa de control del PLC. De esta forma, la categoría 2 puede utilizarse para detener un proceso de producción, p.ej., retirar o situar una pieza, y el proceso interrumpido se reanudará accionando un pulsador de marcha. Si el proceso en cambio no debe detenerse inmediatamente, p. ej., debido a condiciones de riesgo o seguridad, puede realizarse por medio de un paro de categoría 1.

**Parada de emergencia:** Si bien es un tipo de paro, se debe tratar de manera específica por tratarse de un dispositivo de seguridad primordial. Si se acciona la Parada de emergencia, el sistema oleoneumático debe alcanzar una situación que sea segura tanto para las personas como sus componentes. Esta situación vendrá definida por la tipología del proceso y el diseño del sistema: así el estado definido por una parada de emergencia puede ser tanto que los componentes y actuadores deban desconectarse inmediatamente o que sigan funcionando hasta que alcancen posiciones o estados que eviten dañar personas o a la máquina.

A la Parada de emergencia, además de los requerimientos típicos de un paro, se le exige que:

- 1) Debe tener prioridad máxima y absoluta sobre todos las demás funciones y actividades del sistema oleoneumático en todos sus modos de operación.

- 2) Las fuentes de alimentación de los componentes y actuadores de la máquina que puede causar condiciones peligrosas deben desconectarse lo más rápidamente posible sin crear riesgos adicionales. Estos riesgos, a modo de ejemplo, pueden ser producidos por las inercias de los actuadores, empleando para estos casos dispositivos mecánicos o componentes oleohidráulicos o neumáticos que frenan y actúan de modo seguro sin necesidad de alimentación externa además de realizar el corte de las fuentes de energía.
- 3) La inicialización del paro de emergencia debe estar disponible en todo momento y no debe arrancar una nueva puesta en marcha. Esto, normalmente, se lleva a cabo mediante desbloqueo del Paro de emergencia lo que en ningún caso pone en marcha de nuevo el sistema automáticamente.

La parada de emergencia se implementa mediante una condición de parada de categoría 0 o de categoría 1 dependiendo del proceso y la tipología de la máquina. En el caso de un paro de categoría 0 no debe realizarse a través del PLC y se empleará un circuito con aparataje eléctrica y/o componentes oleohidráulicos y neumáticos independientes. Estos circuitos de Paro de emergencia garantizan que el paro actúe ante un fallo del PLC. Pero también, en la actualidad, las máquinas industriales implementan el paro de categoría 1 a través de PLC. Tanto en categoría 0 como en 1, la desconexión de alimentación de potencia debe ser realizada a través de componentes electromecánicos. En algunos casos, para la parada de emergencia tipo 1, se emplean sistemas especiales de seguridad en los PLC's fundamentados en varias unidades centrales, módulos de entrada/salida especiales, programas de doble auto-supervisión y equipos suplementarios similares.

La situación del Paro de emergencia, independientemente, de su modo de implementación debe contemplarse de forma explícita en el programa de control. De esta forma se consigue que, en caso de querer recuperar el proceso, el subsistema de control disponga de la capacidad de controlar el correspondiente estado de de las señales.



Se establecen dos opciones para la recuperación después de un paro de emergencia:

- 1) Continuar a partir del mismo punto.
- 2) Resetear el sistema y ponerlo en condiciones o estado inicial. En este segundo caso, lo habitual es activar una función de rearme o conmutar a manual.

**Modos de operación:** En el diseño de un sistema o máquina oleoneumática es necesario establecer diferentes modos de operación en función de su uso, aplicación o incluso para su ajuste o mantenimiento. La elección del modo de operación requerido no debe habilitar la puesta en marcha de la máquina de manera automática. Debe ser necesario, además, cumplir la condición de marcha para el modo escogido (p.ej. que en el menor de los casos puede ser accionar el pulsador de marcha). Las medidas de seguridad y protección deben permanecer operativas en todos los modos de operación y sólo bajo condiciones muy especiales y controladas por operador será posible la anulación de las misma o parte de ellas.

A continuación, se expone, una tabla resumen de los posibles modos de operación.

Tabla 3.3.3.2.2.- Modos de operación.

| Modo                   | Descripción  |
|------------------------|--|
| Automático             | El sistema opera según el programa de control, sin intervención humana.  |
| <i>Semi-automático</i> | Sólo una parte del sistema opera sin intervención humana.  |
| <i>Manual</i>          | En este modo es gobernado directamente por las órdenes del operador. Además, la ejecución de las ordenes podría esta condicionada por elementos de seguridad o de funcionamiento (p. ej. dispositivos de enclavamiento y/o bloqueo).   |
| <i>Ajuste</i>          | Es un modo que permite al operador controlar individualmente los actuadores o componentes del sistema (generalmente la parada de emergencia permanece activada). En este modo se posibilita, en muchos casos, eludir dispositivos de seguridad y enclavamiento, por lo que debe ser utilizado únicamente por personal especializado. |

| Modo                      | Descripción  |
|---------------------------|--|
| <i>Ajuste de paso</i>     | Modo especialmente pensado para programas de control puramente secuenciales, con los cuales el operador puede situar al sistema en una determinada etapa o paso de la secuencia. Cabe la posibilidad de cumplir o no las condiciones de transición para alcanzar dicho paso, además de poder establecer el paso sin que se produzca o produciéndose las ordenes de salida. |
| <i>Paso a paso manual</i> | Modo especialmente pensado para programas de control puramente secuenciales. Permite al operador ejecutar el programa de control paso a paso por medio de la generación de una señal que esta prevista exclusivamente para este fin.   |
| <i>Ciclo único</i>        | Modo automático que ejecuta un solo ciclo de programa. El requisito previo es que se cumplan ciertas condiciones de marcha.  |
| <i>Ciclo continuo</i>     | Modo automático que ejecuta un determinado número de ciclos de programa siempre que se cumpla la condición de iteración.   |

**Rearme (o Reset):** Permite situar al sistema, por medio de una señal específica, en su posición inicial independientemente del estado en que se encuentre. Esta función en muchos casos supone, también, la condición de reinicializar el programa de control. Es importante resaltar que la acción de rearme o reset, en ningún caso, debe poner en riesgo la vida humana ni los componentes de la instalación.

### 3.3.3.3 Modos de señalización

Son los interfaces hombre-máquina o HMI, en los sistemas oleoneumáticos automatizados, los encargados de transmitir las señales de funcionamiento, de advertencia y de peligro. Esta obligación se indica en la norma IEC 61310-1 sobre Seguridad de las máquinas con las siguientes palabras “son los encargados de transmitir informaciones relativas a la seguridad para el uso y mando seguro de las máquinas por la personas expuestas y los operarios”

El operario interactúa sobre la maquina oleoneumática o sobre el proceso en un sistema en bucle abierto por medio del interfaz hombre-máquina. La siguiente figura muestra tal hecho:

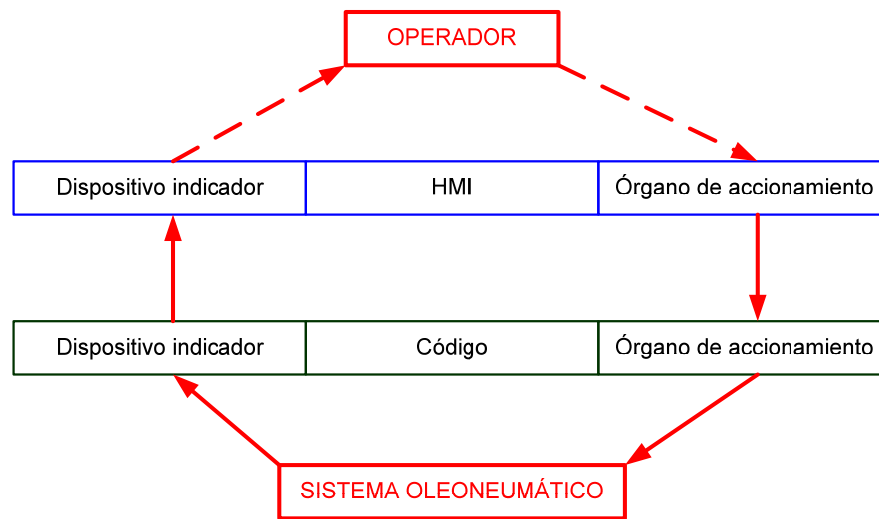


Figura 3.3.3.3. - Bucle abierto del HMI.

El HMI está formado por órganos de accionamiento, por medio de los cuales el operario inicia acciones, y dispositivos indicadores, a través de los cuales el operario recibe información. En muchos casos, la información se representa por una señal codificada mediante un juego particular de reglas y entonces, el operario tiene que interpretar la señal de acuerdo a esas reglas. Se utilizan diferentes tipos de codificación como el color, la forma o el tiempo, pero cada vez son más habituales los diseños que se acompañan de mensajes explícitos en el idioma del operario. Si es importante resaltar las virtudes que aporta el uso de códigos para el diseño del HMI:

- aumenta la percepción y la rapidez de reacción del operador.
- Aumenta la cantidad de información perceptible dada por un dispositivo indicador (p. ej. por unidad de superficie, por unidad de tiempo, etc.).

También es relevante, aunque parezca obvio, que la información aportada por el HMI, y especialmente las relativas a la seguridad, debe diseñarse de forma clara e inequívoca y fácilmente perceptible para el operario. Y que se debe utilizar señales pasivas para advertir en caso de peligro permanente y para proporcionar una información sobre, por ejemplo, la ubicación de la parada de emergencia.



## 4. Metodología y recursos de la investigación



## 4 Metodología y recursos de la Investigación.

### 4.1 Método de Investigación.

El presente trabajo investiga en el diseño y desarrollo de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos con el objetivo final de definir metodologías sistemáticas que hagan más eficiente esta labor. Si bien, cada proyecto de diseño de un sistema oleoneumático industrial es siempre un nuevo y único reto, la experiencia obtenida en esta labor permite inferir que para que el proyecto tenga éxito es necesario y relevante que exista un Procedimiento de Trabajo. Este plan, lógicamente, debe estar adaptado a los requerimientos específicos de las tecnologías que intervienen en el mismo. A continuación, se define la estructura simplificada del Procedimiento de investigación seguido en este Trabajo de Tesis.

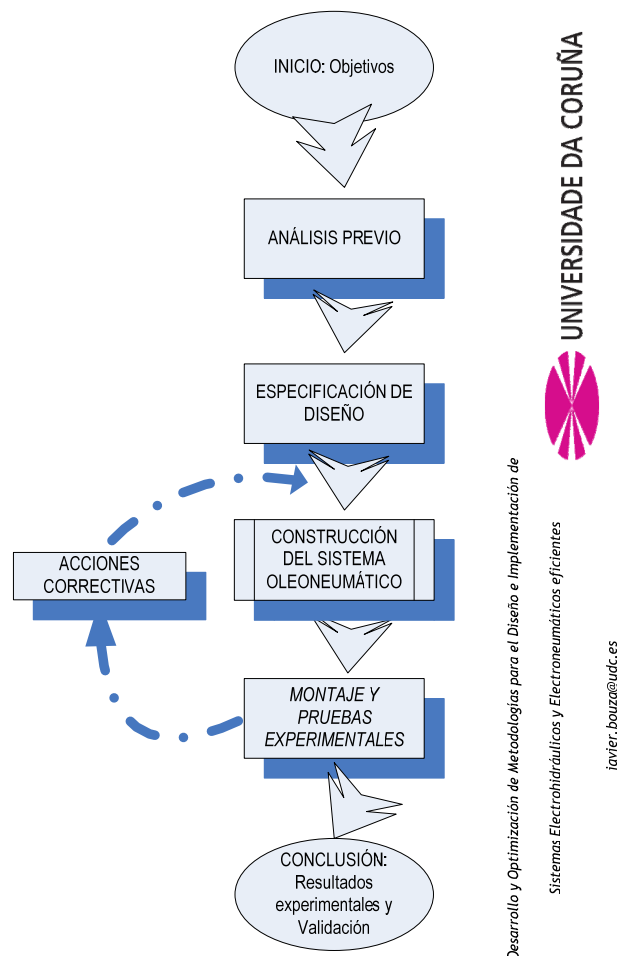


Figura 4.1.- Diagrama de la estructura simplificada del Método de Investigación.

En la siguiente tabla, se resumen las etapas básicas del Procedimiento de Investigación.

Tabla 4.1.- Etapas del Método de Investigación.

| <i><b>Etapas</b></i>            | <i><b>Descripción</b></i>  |
|---------------------------------|--|
| <i><b>Inicio: OBJETIVOS</b></i> | <p>La palabra objetivo proviene de la raíz latín "ob-jactum" que significa "a donde se dirigen nuestras acciones" y aplicado al trabajo, serán los enunciados escritos sobre "los resultados a ser alcanzados" en un periodo determinado. Como son puntos de llegada de nuestro trabajo, se requiere de una detenida reflexión que valore adecuadamente las capacidades técnicas y los recursos materiales disponibles para asegurar los objetivos pretendidos. Otro aspecto vinculante, es la metodología de trabajo a seguir, que en este caso, debe asegurar que todos los esfuerzos se dirijan hacia el mismo fin.</p>   |
| <i><b>ANÁLISIS PREVIO</b></i>   | <p>En esta etapa, se estudia los procesos y sistemas existentes que se aproximen o cumplan los objetivos. A diferencia del concepto "Estado del Arte", y para este trabajo en concreto, no se centraliza únicamente en un estudio de lo último o lo más avanzado en la tecnología, sino en lo más óptimo (que en algunos casos no es lo más nuevo ni lo más caro) para alcanzar los objetivos. Además, en esta etapa se comprueba la factibilidad de todos los objetivos en términos de planificación, aspectos técnicos y de coste (condición necesaria para alcanzar la eficiencia). Todo ello, sin obviar los condicionamientos de normativas y reglamentaciones impuestas en España y en la Unión Europea. En este caso, y como se detallará, se hará especial hincapié en la seguridad de los diseños a desarrollar.</p> <p><i>Esta fase ha de concluir en "la idea del sistema a diseñar" y en una primera valoración de la viabilidad de la tecnología oleohidráulica y neumática como solución.</i> Es obvio, que la experiencia en el campo es un grado para tal determinación.</p> |
| <i><b>ESPECÍFICACIÓN</b></i>    | <p>La etapa anterior, el análisis previo, sirve para definir el pilar sobre él que se debe sustentar el diseño a desarrollar que es la "Especificación de Diseño". Este documento técnico define la tecnología empleada y las prestaciones que debe presentar nuestro proyecto y, además, servirá como indicador final para valorar la calidad del diseño.</p>   |



| <i>Etapa</i>                                  | <i>Descripción</i>  |
|---|---|
| <i>CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA OLEONEUMÁTICO</i> | Aquí, empieza la etapa más dura en esfuerzo y creatividad de la construcción del sistema oleoneumático. El resultado, de esta fase es el diseño de una o varias soluciones. Se cuantificará el esfuerzo y la complejidad de la soluciones, tanto en recursos materiales como humanos, en función de la Especificación. Para tal fin, se procederá a desarrollar y experimentar con diferentes metodologías que se tratarán con gran detalle a lo largo de esta Tesis.   |
| <i>MONTAJE y PRUEBAS EXPERIMENTALES</i>       | <p>En esta fase, el sistema es rigurosamente verificado en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol: se realiza un control completo de su funcionamiento y de su seguridad y se contrasta con la Especificación y, si es necesario, se realizan las correcciones pertinentes. Además, permite valorar la eficiencia de la solución aplicada.</p> <p>Por tanto, esta etapa no sólo es necesaria para que funcione de manera correcta y segura el sistema diseñado, sino que facilita un feedback que permite corregir y optimizar la solución o soluciones.</p> |
| <i>Conclusión: RESULTADOS y VALIDACIÓN</i>    | Esta etapa final sintetiza el trabajo realizado: se toma las ideas principales y se resume lo investigado, se generan tanto los argumentos y afirmaciones como las causas y consecuencias de la investigación.  |

Un factor común de todas las etapas definidas en el Procedimiento de investigación seguido, en esta Tesis, es que “busca una evolución desde el principio al acabado”, es decir, el concepto de referencia es descrito previamente con aproximación y, posteriormente, perfeccionado poco a poco y establecido de forma precisa. Esta estructuración, además, “permite un desglose del proyecto en tiempo y recursos necesarios por etapas”, algo fundamental para su realización. De esta forma, es posible cuantificar los riesgos inherentes a su realización técnica, utilización, tiempo y costes.

## 4.2 Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático.

### 4.2.1 Generalidades.

El diseño del sistema oleoneumático se iniciará con las fases de Objetivos y Análisis Previo para concluir con la Especificación. Estas etapas son necesarias *porque no se puede diseñar aquello que se desconoce* y porque, además, permite valorar si la tecnología oleoneumática es la solución adecuada. Una vez completadas estas, empieza la fase en la que se fundamenta y desarrolla esta Tesis, el diseño y desarrollo del sistema oleoneumático.

Para esta fase de construcción del Sistema Oleoneumático, en este trabajo, se ha definido un Procedimiento que se fundamenta en el concepto de la “cadena de mando” y en sus dos subsistemas principales: “subsistema operativo” y “subsistema de mando”. A continuación, en el siguiente flujograma, se define el método seguido para desarrollar las soluciones de esta Tesis.

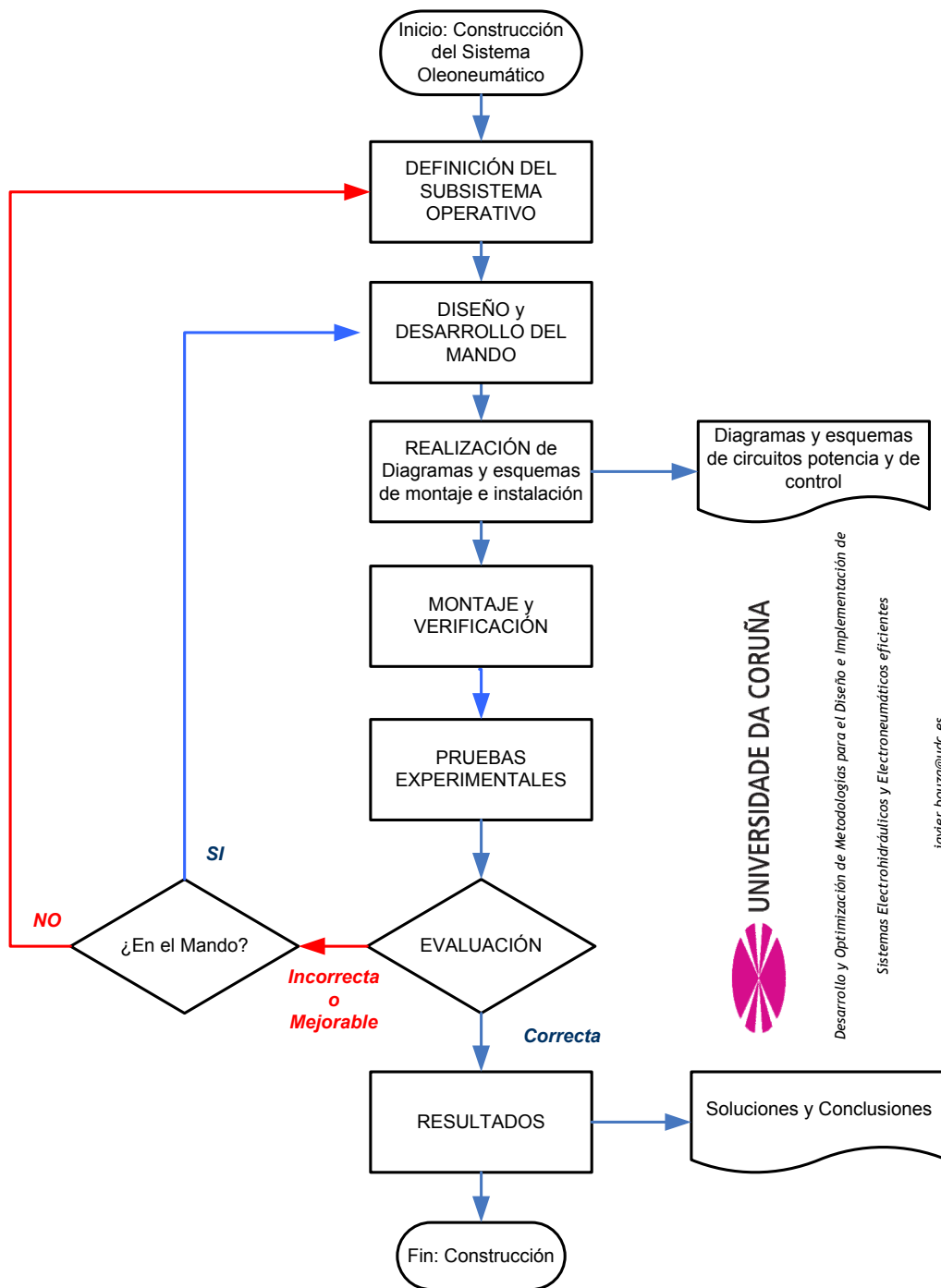


Figura 4.2.1.- Flujograma de la Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático.

#### 4.2.2 Subsistema Operativo

En lo concerniente al desarrollo del subsistema operativo o parte operativa del sistema oleoneumático es necesario un profundo conocimiento de la tecnología oleohidráulica y neumática. El descuidar este hecho puede traer consigo no sólo pérdidas irreparables sino poner en riesgo la propia vida humana. Cualquier fabricante, en estas tecnologías, imprime o muestra en sus catálogos y software técnico frases del tipo “la selección inadecuada o el uso inapropiado de los productos y/o sistemas descritos o elementos relacionados pueden causar la muerte, lesiones personales y daños a la propiedad”<sup>26</sup>. Es, en esta fase, donde se realiza el dimensionado y selección de los actuadores, fuentes de energía y elementos de control y regulación del flujo de potencia. En esta labor, tiene un carácter vinculante la determinación de la magnitud presión y caudal. Esto último, conjuntamente con las fuerzas o pares, velocidades, condiciones y situaciones de trabajo requeridas en el Pliego de condiciones, determinan el dimensionamiento y selección de los elementos fluidicos de potencia. Es, también, en esta fase donde se decide el modo de trabajo del mando: manual, binario, digital, analógico o proporcional que, posteriormente, en otra etapa, se diseñara y desarrollará. El motivo de decidir este aspecto del mando en esta fase es armonizar el flujo de señales en la cadena de mando. De esta forma, se evita cualquier rechace o discordancia en la transmisión bidireccional de la información suministrada entre el subsistema operativo y de mando. Por último y no menos importante, existen otros aspectos relevantes, como por ejemplo, la precisión, la confiabilidad, el rendimiento, el mantenimiento, su facilidad para la automatización, etc., y, por supuesto, el coste. A continuación, se propone la siguiente tabla con los aspectos a valorar para la selección de los distintos elementos, además de sus datos técnicos de dimensionamiento.

---

<sup>26</sup> “Failure or improper selection or improper use of the products and/or systems described herein or related items can cause death, personal injury and property damage”

Tabla 4.2.2.1.- Características a valorar de los elementos del subsistema operativo.

| Características generales de los elementos del subsistema operativo  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Coste.</li><li>2. Rendimiento.</li><li>3. Precisión y confiabilidad.</li><li>4. Comportamiento estático y dinámico.</li><li>5. Espacio requerido y condiciones de entorno.</li><li>6. Modo de trabajo: manual, binario, digital, analógico y proporcional.</li><li>7. Consideraciones para la automatización y control.</li><li>8. Mantenimiento. Consideraciones de seguridad.</li></ol> |

Con todo lo expuesto anteriormente, se intenta poner de relieve dos aspectos: por un lado, la necesidad de muchos otros factores además del rendimiento económico y técnico a la hora de elegir una marca o tipo del componente del sistema; y por otro, que dependiendo del grado de experiencia del ingeniero o diseñador, la información y la asistencia requerida del fabricante para la definición del sistema será muy diversa.

De todo, lo anterior, se establece el siguiente postulado:

*“En un sistema oleoneumático no se puede diseñar un sistema de mando mientras no esté perfectamente definida la parte operativa”*

A continuación, se muestra una tabla de buenas prácticas para definir la parte operativa del sistema electroneumático o electrohidráulico industrial.

Tabla 4.2.2.2.- Pasos para definir el subsistema operativo.

**Pasos para definir la parte operativa:**

1. Determinación del rango de presión más óptimo atendiendo a la función y economía. En este sentido la experiencia y el conocimiento de otros sistemas similares es fundamental.
2. Se realizan los cálculos teóricos del elemento o elementos de trabajo. Las fuerzas y los pares que sean necesarios definen las superficies de trabajo y, en consecuencia, las dimensiones de los mismos. Adaptando las características de la velocidad y de las revoluciones se obtienen los valores requeridos de caudal volumétrico.
3. Una vez definidos los parámetros relacionados a la presión y caudal volumétricos, se procederá a la selección de válvulas, bombas y motores que correspondan a dichos parámetros. Se procurará el equilibrio en el binomio prestaciones-precio, primando los aspectos de seguridad para la selección de los componentes.
4. Se decide el modo de trabajo del mando: manual, binario, digital, analógico o proporcional que, posteriormente en la fase de Diseño y Desarrollo del Mando, se implementará. El motivo de decidir este aspecto del mando durante el desarrollo de la parte operativa es armonizar el flujo de señales en la cadena de mando.
5. Se realiza una lista de piezas, con su especificación y coste.
6. Se elabora un esquema preliminar de la composición de la parte operativa, que más tarde será completado en la fase de Realización de Diagramas y Esquemas

**4.2.3 Subsistema de Mando.**

Definida la parte operativa del sistema, la segunda etapa en la fase de construcción, será el Diseño y Desarrollo del Mando. Y es aquí, donde esta *Tesis centra su investigación en el desarrollo de metodologías sistemáticas que*

*permitan obtener la solución óptima que ahorre tiempo, costes y se adapte a las características específicas del circuito fluídico de potencia a desarrollar.*

Desde el punto de vista global, el subsistema de mando debe cumplir una serie de especificaciones, que se pueden reunir en dos grupos:

- **Tecnológicas:** como anteriormente se trató, el subsistema de mando se clasifican según el sistema con que se implementa, la señal con que opera y la forma de procesamiento de la señal. Es fundamental, en este aspecto, armonizar el flujo de señales y adecuarlo al flujo de potencia.
- **Funcionales y operacionales.** Las primeras tienen por objeto vincular el sistema de entrada con el de salida según determinadas funciones. Y las segundas, definir los modos de servicio y prestaciones que el sistema de mando proporciona: automático, manual, ciclo continuo, etc. Actualmente, en los sistemas de mando más recientes, es habitual tratar estos aspectos de manera conjunta.

En cuanto al primer aspecto, el tecnológico, los sistemas de mando estudiados en esta Tesis están formados por mandos programables binarios, lo que va a permitir obtener una mayor flexibilidad y funcionalidad a la hora de reconfigurar las operaciones del procesado digital de la señal sin más que cambiar el programa. Este tipo de mando se ha impuesto en el mundo industrial por el predominante uso de ordenadores, controladores digitales y PLC's. Además, estos últimos representan una configuración física<sup>27</sup> (hardware) de control estándar, compacta y robusta que se adapta de manera idónea a los ambientes y a las necesidades de los procesos industriales. Asimismo, su programación mediante software se base en lenguajes estandarizados (IEC 61131-3).

---

<sup>27</sup> IEC 61131-1:2003 Programmable controllers - Part 1: General information. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages

Tabla 4.2.3.1.- Comparación de controladores digitales (lógica a medida) y PLC´s

| CARACTERÍSTICA  |                              | CONTROLADORES DIGITALES (Lógica a medida) | PLC      |
|---|------------------------------|---|----------|
| Tamaño físico   |                              | Muy compacto                              | Compacto |
| Consumo de energía  |                              | Bajo                                      | Bajo     |
| Modularidad (hardware fragmentado en partes interconectables) |                              | Baja                                      | Alta     |
| Flexibilidad  |                              | Media                                     | Alta     |
| Robustez industrial   |                              | Baja                                      | Alta     |
| Velocidad de procesamiento                                    |                              | Alta                                      | Media    |
| Posibilidades de ampliación                                   |                              | Baja                                      | Alta     |
| Compatibilidad con sensores y actuadores                      |                              | Medio                                     | Alta     |
| Mantenimiento   |                              | Difícil                                   | Fácil    |
| Instalación   |                              | Difícil                                   | Fácil    |
| Detección de fallos   |                              | Medio                                     | Sencillo |
| Coste para una producción pequeña                             |                              | Alto                                      | Bajo     |
| Coste para una producción elevada                             |                              | Bajo                                      | Medio    |
| PROGRAMACIÓN  | Software estándar            | No  | Si       |
|   | Lógica combinatorial         | Si  | Si       |
|   | Lógica secuencial            | Si  | Si       |
|   | Capacidad de cálculo         | Si  | Si       |
|   | Capacidad de mando           | Si  | Si       |
|   | Capacidad de regulación      | Si  | Si       |
|   | Interfaces hombre-máquina    | Si  | Si       |
|   | Comunicaciones               | Si  | Si       |
|   | Nivel Personal especializado | Alto                                      | Medio    |
|   | Tiempo desarrollo            | Alto                                      | Medio    |



Como se ha indicado, una de las claves del éxito del mando programable binario frente a las otras tipologías de mando es su flexibilidad. Es decir, poder realizar distintas funciones de control sin alterar la configuración física cambiando únicamente el programa de control. Esto, permite construir máquinas oleoneumáticas que se adapten a distintas o nuevas configuraciones del proceso modificando principalmente el programa de control, lo que se traduce en una mayor versatilidad y diversidad de producción. Esta razón ha sido uno de los motivos por los que este tipo de mando ha conseguido un mayor implante que otros sistemas de mando de menor coste, como por ejemplo, los basados en “lógica cableada”. Si bien los sistemas cableados, también, realizan la función de control, por el contrario ésta es fija y la única forma de alterar o cambiarla es modificando sus componentes o la forma de interconectarlos. Este hecho, condiciona el uso de los sistemas de lógica cableada a una producción especializada, y cuyo ciclo de vida está supeditado a la vigencia del proceso.

Tabla 4.2.3.2.- Comparación de sistemas cableados y PLC's

| CARACTERÍSTICA   | SISTEMA CABLEADO | PLC      |
|--|------------------|----------|
| <i>Hardware estándar para distintas aplicaciones</i>                 | No               | Sí       |
| <i>Flexibilidad de adaptación al proceso</i>                         | Baja             | Alta     |
| <i>Modularidad (hardware fragmentado en partes interconectables)</i> | Baja             | Alta     |
| <i>Posibilidades de ampliación</i>                                   | Bajas            | Altas    |
| <i>Compatibilidad con sensores y actuadores</i>                      | Media            | Alta     |
| <i>Mantenimiento</i>   | Complicado       | Fácil    |
| <i>Instalación</i>   | Complicada       | Fácil    |
| <i>Detección de fallos</i>   | Complicado       | Sencillo |
| <i>Estructuración del proceso en bloques independientes</i>          | Complicado       | Sencillo |
| <i>Coste para una producción pequeña</i>                             | Alto             | Bajo     |
| <i>Coste para una producción especializada</i>                       | Bajo             | Medio    |

Por otro lado y con el objetivo de optimizar el flujo de señales en la cadena de mando al flujo de potencia del sistema a construir, actualmente, existe una tendencia a adecuar todas las señales procesadas al formato digital. Por ello, para los captadores de información del sistema oleoneumático se opta por el uso de sensores y transductores digitales y para el caso de necesidad de señales analógicas, estas son “digitalizadas” mediante un “conversor analógico digital”. Este hecho no sólo se debe interpretar como una mera cuestión de que sean procesadas directamente por los controladores digitales o PLC’s. También, su propósito se encuentra en las virtudes de la señal digital con respecto a la analógica: un mejor procesamiento, transporte y almacenamiento de las señales del sistema. Consiguiendo, a su vez, que la señal sea más inmune al ruido y a otras interferencias.

En general, los sensores y transductores a emplear en el sistema oleoneumático deben resistir la suciedad y la humedad, las vibraciones y las temperaturas extremas sin dejar de funcionar de manera fiable en todo momento. Estas condiciones exigentes sólo se consiguen con diseños robustos e índices de protección elevada, como son, IP67 y IP68. Su estabilidad de medición es importante para garantizar una repetibilidad absoluta de los valores de medición. A continuación, se definen los aspectos relevantes a considerar para su selección.

Tabla 4.2.3.3.- Selección del proceso de medición.

| Selección del proceso de medición  |
|--|
| 1. Rango de medición.  |
| 2. Exactitud de medición. Aspectos como la resolución, precisión, el umbral, la histéresis, la sensibilidad, la repetibilidad y la correlación lineal entre otros. |
| 3. Formato de salida (digital o analógico) y características eléctricas: tipo de salida (tensión o corriente) y tipo de alimentación (2,3 ó 4 hilos).              |
| 4. Características dinámicas: respuesta en frecuencia y tiempos de respuesta.  |

**Selección del proceso de medición**

5. Comportamiento frente a influencias del medio ambiente: efectos de presión, temperatura y humedad.
6. Comportamiento frente a perturbaciones electromagnéticas o mecánicas.
7. Grado de Protección IP
8. Montaje.
9. Fiabilidad: vida útil y seguridad de funcionamiento.

En definitiva:

*El empleo del mando programable binario conjuntamente con los captadores de información adecuados aplicado a la Tecnología Oleohidráulica y Neumática permitirá desarrollar sistemas automatizados en cadena abierta y cerrada con posibilidad de autocontrol, autocorrección de desviaciones y con flexibilidad y adaptación a nuevos procesos o ampliaciones futuras.*

En lo referido a los aspectos funcionales y operacionales del subsistema de mando: el mando implementado en el sistema electrohidráulico o electroneumático debe disponer de capacidad lógica y de cálculo para realizar y supervisar las distintas funciones en los diferentes modos de servicio que satisfagan las exigencias requeridas en la Especificación. Estas capacidades se consiguen, frecuentemente, desarrollando un complejo modelo matemático o algoritmo de control que sintetiza los aspectos funcionales y operacionales del sistema oleoneumático automatizado. Además será necesario, para resolver correctamente, supervisar las acciones de funcionamiento y de servicio. Para lo cual, entran en consideración los parámetros definidos anteriormente en la parte operativa: presión, caudal y temperatura, además de medir las magnitudes mecánicas como el recorrido, la fuerza o el par, la velocidad o el número de revoluciones y la aceleración.

No se puede obviar, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, que la labor de desarrollo de los aspectos funcionales y operacionales ha sufrido un giro importante con la aplicación del mando binario programable en relación a otras opciones tecnológicas. *Esta tipología de mando incrementa el potencial y la flexibilidad de la que dispone el diseñador, como bien revela el atributo “programable” pero, en contrapartida, aumenta la complejidad, el número de soluciones posibles y el tiempo empleado.* Por ello, surge la necesidad de metodologías sistemáticas que ahorren tiempo y complejidad y que permitan obtener la solución óptima de mando y control para esta tecnología fluidica de potencia.

#### 4.2.4 Metodología de Diseño y de Desarrollo del Mando

Al desarrollar el mando programable, en muy pocos casos puede procederse de forma intuitiva; esto solo es posible si se dispone de una gran experiencia y si se trata de una tarea relativamente sencilla. A continuación y persistiendo en la premisa de *buscar la evolución desde el principio al acabado*, se expone el método sistemático empleado en esta Tesis para diseñar y desarrollar el mando de los sistemas oleoneumáticos. La base de esta metodología se encuentra en usar las representaciones formales, analizadas en el capítulo III, y las Técnicas combinatoriales y secuenciales, así como los otros métodos propuestos en esta Tesis. Por supuesto, también será razonable proceder combinando la intuición, la experiencia y la metodología propuesta.

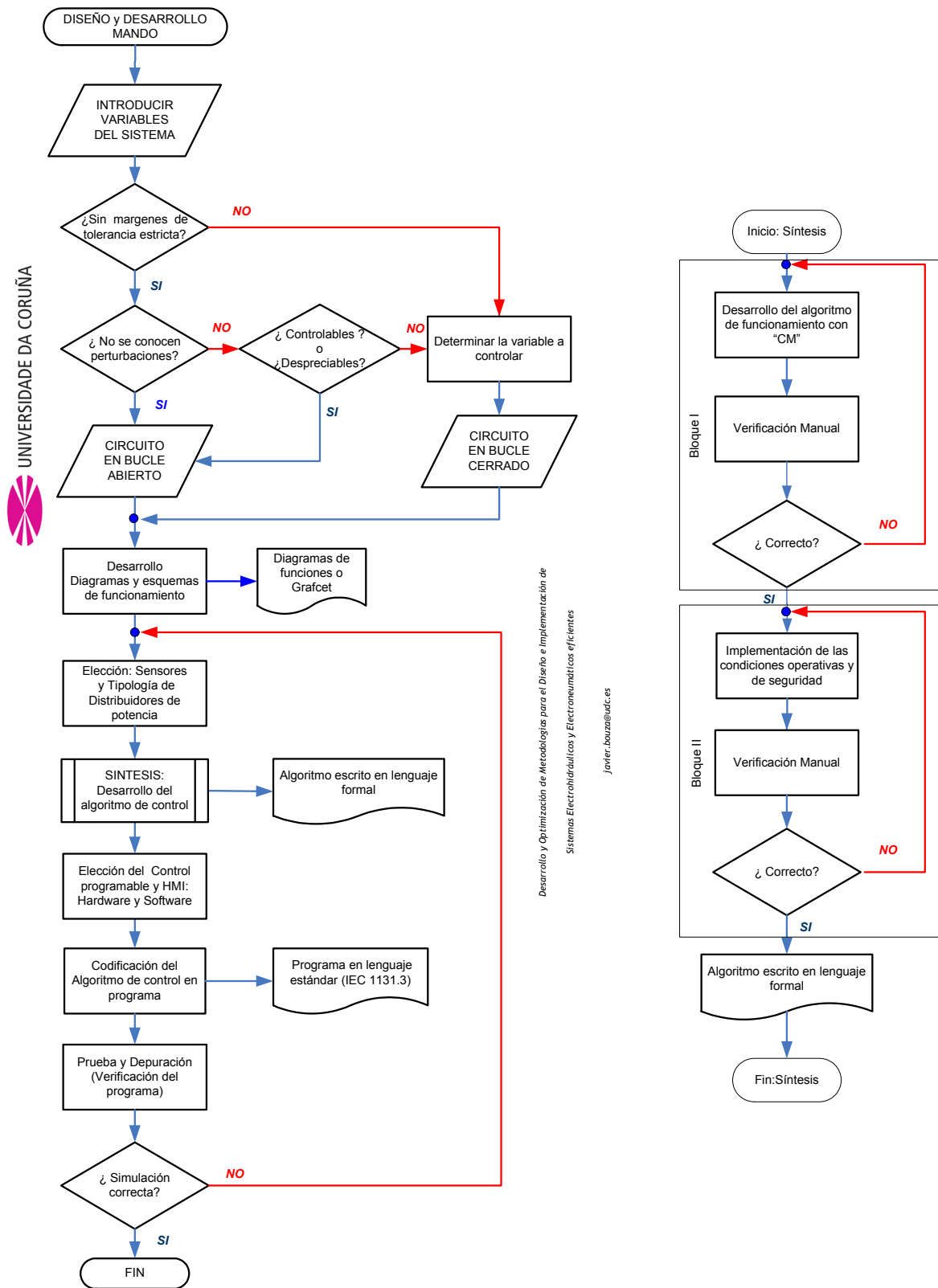


Figura 4.2.4.1.- Flujograma de la Metodología de Diseño y de Desarrollo del Mando.

Como se muestra en la figura 4.2.4.1, el método se inicia detallando todas las variables de entrada que intervienen en el control. Y se analiza su naturaleza y comportamiento, así como los márgenes de tolerancia establecidos por la especificación del sistema. Esto permite no sólo definir los parámetros con los que habrá que trabajar para desarrollar el algoritmo de control sino, también, escoger la tipología de control adecuada: mandar o regular o incluso ambas.

A continuación, se desarrolla las representaciones y esquemas formales para definir el funcionamiento, siempre sin olvidar la especificación del sistema. De esta tesis, se infiere que los Diagramas espacio-fase y de mando son los más idóneos en el caso de optar por una solución combinacional dejando el Grafcet para las soluciones secuenciales y más complejas. Además, los primeros aportan un instrumento de análisis del comportamiento de los distribuidores de potencia y el segundo, el Grafcet, permite ser codificado directamente al controlador o PLC en lenguaje SFC (“Sequential Function Chart”).

La siguiente fase comprende la selección de los captadores de información y la selección de los distribuidores de potencia. Estos dos elementos de gobierno son uno de los aspectos más singulares y delicados de la automatización. Como se ha indicado anteriormente, en los sensores y transductores es primordial el aspecto de robustez mecánica y ambiental para funcionar de manera fiable en todo momento. La elección de estos captadores de información viene supeditada por la magnitud a medir, por la especificación del sistema y por el acondicionamiento de su señal. Por otro lado, en los distribuidores de potencia es donde reside uno de los pilares fundamentales para que el sistema sea seguro y eficiente. Si bien, cuando se define la parte de operativa del sistema oleoneumático se determinan las dimensiones básicas del distribuidor y su modo de trabajo (manual, binario, digital o analógico) es ahora, en el diseño del mando, cuando toca escoger su tipología y analizar su comportamiento. El objetivo es escoger el distribuidor de potencia que no solamente permita gobernar de manera segura a los actuadores hidráulicos y

neumáticos sino que optimicen el funcionamiento del sistema. En esta tesis, se mostrará como utilizando los diagramas funcionales se dispondrá de una herramienta que permite analizar el comportamiento de los distribuidores de potencia en el escenario de la secuencia. Y como empleando adecuadamente ciertos elementos auxiliares de control, los biestables RS, se optimiza tanto el comportamiento del distribuidor como del sistema.

En cuanto a la fase de síntesis, lo primero es subrayar que su objetivo es obtener un algoritmo de control de cuya codificación se obtendrá el programa de control. Este algoritmo es de vital importancia debido a que representa la síntesis del control y supervisión del sistema oleoneumático automatizado. Se implementa con las representaciones formales del funcionamiento (diagramas de funcionamiento o Grafcet), con los requerimientos definidos en el subsistema operativo y los establecidos en la Especificación. Para su escritura, se usa un lenguaje formal fundamentado en ecuaciones booleanas, diagramas de bloques lógicos o la propia representación funcional, caso del Grafcet nivel I convertido a Grafcet de nivel II o a lenguaje SFC. Obviamente, al aumentar el proceso y la operatividad del sistema oleoneumático crece la complejidad y dificultad del algoritmo a resolver. Para afrontar este handicap, y para este trabajo de Tesis, se ha definido un procedimiento para la fase de síntesis que facilite, verifique y documente la labor a realizar. A continuación, se muestra en la siguiente figura el Flujograma del Procedimiento de Síntesis.

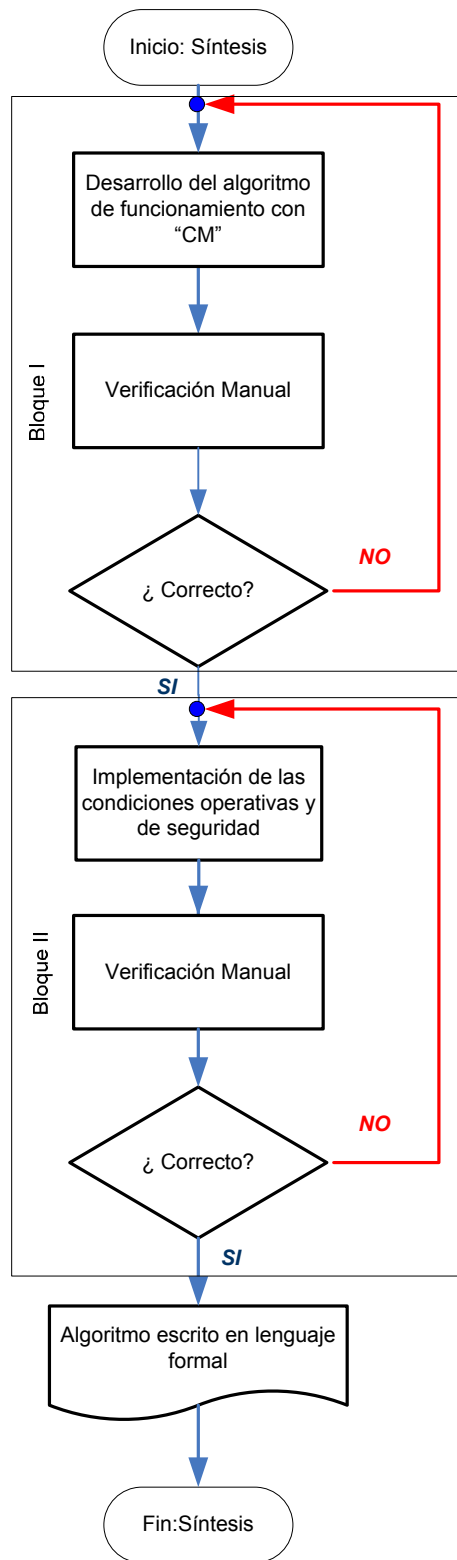


Figura 4.2.4.2.- Flujograma del Procedimiento de Síntesis.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de  
Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es



Dos son los aspectos fundamentales del procedimiento a seguir en la fase de síntesis:

I. Se adopta un diseño descendente (“Top-down”) que permite visualizar el problema en partes o subsistemas pequeños, con sus requerimientos, e interdependientes entre si. Esta interdependencia entre los subsistemas se analiza desde la óptica del proceso global, por lo que se evita que la labor diseño no pierda los objetivos centrales del problema. Las ventajas, perfectamente conocidas y contrastadas de esta planteamiento, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2.4.1.- Ventajas del diseño descendente (“Top-down”).

| Ventajas del diseño descendente (“Top-down”)   |
|--|
| 1. Simplificación del problema mediante la descomposición en partes o subsistemas. Pero sin olvidar, que el riesgo se podría generar en una descomposición equívoca. |
| 2. Las diferentes partes del problema pueden ser desarrolladas de modo independiente e incluso por diferentes personas.  |
| 3. El programa final queda estructurado en forma de bloque o módulos lo que hace más sencilla su lectura, verificación y mantenimiento.                              |

II. La tarea del diseño descendente, a su vez, se estructura en dos grandes bloques secuenciales: por un lado la solución al problema de la secuencia de funcionamiento, y por el otro la implementación de los modos de operación y seguridad.

- a. En cuanto al primer bloque, trabaja una primera solución que contempla el funcionamiento detallado del proceso con un único modo de operación genérico que denominamos “CM” (o condición de marcha). El objetivo de esta primera estructura es ir refinando paso a paso las funciones individuales hasta que se

alcance un nivel de descripción que contiene todos los detalles funcionales del proceso sin entrar en el detalle de los modos de servicio y situación de emergencia. Para el caso de procesos simultáneos o complejos, y siguiendo las premisas de diseño descendente, se divide el proceso global en una serie de transformaciones o subprocesos que entre sí son secuenciales. Por tanto, se dispone de un proceso continuo estructurado en distintos subprocesos independientes cuya concatenación condicionará la eficiencia global. Esto permite simplificar, sistematizar y repartir la labor de diseño para resolver el algoritmo de funcionamiento del proceso.

- b. El cuanto al segundo bloque, se desarrolla sobre la estructura del primer bloque y consiste en definir y confeccionar los modos de operación (condiciones de servicio: ciclo continuo, rearme, mantenimiento, etc.) y seguridad (parada de emergencia, presencia de personas, alertas diversas,...). Todo ello, en conjunción con el circuito fluídico de potencia. Esta forma de proceder permite implementar los aspectos operativos y de seguridad sin perder la visión total del funcionamiento del proceso.

El desarrollo de cada uno de los dos bloques se acompaña de una verificación manual que es un mecanismo de aseguramiento que busca que los resultados obtenidos en la síntesis sean válidos y confiables. El motivo de esto, surgió de la experiencia y de la fase experimental de esta Tesis en la que se comprobó que al menos un 60% del trabajo de diseño se emplea en esta etapa de síntesis. A continuación, se detallan el Plan de verificación seguido:

Tabla 4.2.4.2.- Plan de Verificación manual del Procedimiento de Síntesis.

| Plan de verificación manual   |
|---|
| 1. Desarrollar el algoritmo, primeramente, sobre papel.   |
| 2. Programación estructurada en subprogramas o secciones para facilitar posibles modificaciones o ampliaciones.   |
| 3. Introducir tantos comentarios como sean necesarios y mantener la documentación de todos los componentes usados en el programa.   |
| 4. Se deben englobar todas las funciones y secuencias del proceso.  |
| 5. Se deben establecer procedimientos para casos de fallo o emergencia. Y señalización de las mismas con avisos y alarmas.  |
| 6. Verificar cada unas secciones y bloques del programa si es posible. Asumir que el programa ante posibles errores “riza el rizo” y sólo el diseñador será capaz de romperlo y corregirlo. |
| 7. Analizar los modos de operación y seguridad tanto en sus situaciones de actuación como en situaciones de fallo o avería en la instalación.   |

Una vez determinada la fase de Síntesis, corresponde escoger el PLC o controlador programable y el HMI, así como su software. Es adecuado hacerlo en este momento y no antes porque en función del resultado de la Síntesis se podrán valorar con más acierto las características y prestaciones necesarias de hardware. En el caso de emplear un controlador que no fuese un PLC (computador, tarjeta controladora, etc.) es importante resolver la compatibilidad e interconexión con los sensores de entrada y elementos de control de la parte operativa. En cuanto al software escogido, los aspectos más relevantes son: que sea totalmente compatible con el hardware de control empleado, su lenguaje de programación y su capacidad de simulación. En el caso de emplear software para el desarrollo de HMI o Scada, es preferente que sea concomitante con el software de programación del controlador. Actualmente, existen fabricantes que disponen de una única plataforma de software para realizar las funciones de programación y de HMI, lo que ahorra tiempo y disminuye contrariedades.

La codificación del algoritmo de control se debe comenzar una vez realizada la fase de síntesis. Solamente, entonces, puede derivarse un programa de control a partir de la representación formal obtenida de la etapa de síntesis. Esto se lleva a cabo mediante software de programación del PLC o controlador y utilizando un lenguaje de programación. En este proyecto de Tesis, se han escogido dos lenguajes de programación para la implementación en PLC´s según IEC 1131-3: FBD (Functional Block Diagram) y LD (Ladder Diagram) por ser, actualmente, los más empleados y unificados.

La fase de prueba y depuración, en el Procedimiento del Diseño del Mando, consiste en simular el programa de control para verificar ampliamente su ejecución y su funcionalidad. De esta forma, pueden detectarse y corregirse con antelación errores de lógica o requerimientos conflictivos o incompletos antes de la fase de Montaje y Verificación. Además, permite examinar el comportamiento de un programa en condiciones excepcionales, que tal vez serían demasiadas peligrosas o costosas en la instalación real. Existen dos posibilidades para realizar este proceso, condicionadas por el software de programación empleado, por la experiencia del diseñador y por la complejidad de la solución:

1. *Simulación offline*: Esta opción permite prescindir de la necesidad física del controlador o PLC escogido, además dota al programador de gran independencia y libertad a la hora de realizar la simulación. Permite la verificación del programa mediante los métodos habituales en simulación online, tales como, el forzado de estados de variables, la ejecución del programa “paso a paso”, etc.
2. *Simulación online sin periféricos o mediante entrenadores*: La verificación se realiza directamente sobre la memoria del PLC, sin embargo, sin periféricos (entradas y salidas) o mediante simuladores de entradas. De esta manera cualquier cambio que se realice sobre el programa afectará directamente al procesador, y con ello al sistema electrohidráulico o electroneumático que controla. Además, la ejecución del programa también puede

verificarse por medio de la visualización del estado de las variables. Sí es importante resaltar que la ejecución de ciertas partes del programa no siempre puede activarse por medio del forzado de entradas y salidas del PLC y, en concreto, las variables internas.

Sin desvirtuar las facilidades que la simulación offline permite, tanto durante la programación como inmediatamente después de ella, se ha optado en la labor de experimentación de esta Tesis por la simulación online. Los motivos de tal decisión son dos:

1. En el Procedimiento de Síntesis seguido en esta Tesis, se ha incorporado una verificación manual. Si bien, se aconsejaría, la simulación offline para agilizar esta labor de verificación en los procesos más complejos.
2. De la experiencia obtenida y del Trabajo de esta Tesis, se puede afirmar que los problemas o errores que aún pueden producirse durante la ejecución del programa de control sobre la instalación construida están, generalmente, relacionados con el tiempo. Estos incluyen tiempos de respuesta, tiempos de ciclo o sincronización de procesos relacionados en el tiempo, tales como las comunicaciones. Y esta cuestión no siempre puede ser simulada de forma realística con la simulación offline. Algo que sí permite la simulación online. Incluso, una vez montado el sistema oleoneumático, será de gran utilidad ya que permite realizar modificaciones en tiempo real y sin necesidad de parar la producción. Esto permitirá optimiza el sistema de mando en la fase Evaluación.

A continuación, se estable una guía de buenas prácticas para la fase de prueba y depuración.

Tabla 4.2.4.3.- Guía de buenas prácticas para la fase de prueba y depuración.

| Protocolo de la fase de prueba y depuración   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Deben realizarse pruebas para establecer si el programa cumple con las funciones y modos de operación que se le exige.</li><li>✓ Las partes que constituyen un programa deberían verificarse por separado. De esta forma, cuando se utilizan partes del programa, es posible confiar en su correcto funcionamiento.</li><li>✓ Se debe realizar el proceso de simulación con el diagrama funcional para no perder la visión global del sistema.</li><li>✓ El programa debe verificarse con entradas incorrectas o defectuosas.</li><li>✓ Si hay valores límites que intervienen en el proceso (p.ej. márgenes permisibles de temperatura) deben verificarse.</li></ul> |

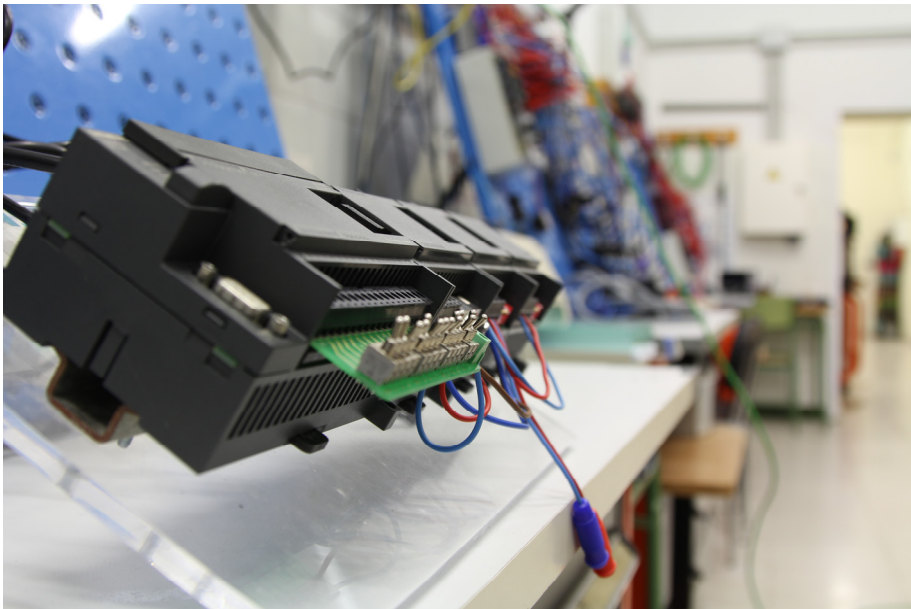


Figura 4.2.4.3.- Simulación online con entrenadores en Laboratorio.

Remarcar, en esta última fase de Prueba y Depuración, el interés del uso de los gráficos funcionales. A modo de ejemplo, se agiliza la comprensión de errores en la simulación online del programa de control haciendo paralelamente un seguimiento con el Diagrama funcional o el Grafset del proceso: siguiendo las etapas del proceso y p.ej. si no se activa una etapa, entonces, el origen del error puede localizarse a través de la condición de transición de esa etapa. Por tanto, los gráficos funcionales permiten situar el problema sin perder la visión general de proceso.

### 4.3 Realización de Diagramas y Esquemas de montaje e instalación.

Una vez resuelto el mando y definido la parte operativa se deberán confeccionar los esquemas y diagramas de distribución de potencia hidráulica, eléctrica y de control, ya que tienen una especial importancia para construir físicamente el sistema y, posteriormente, para su montaje y mantenimiento in situ. Estos esquemas reflejan la composición del sistema oleoneumático construido e incluirán todas las unidades de medición, los datos técnicos de los elementos y sus números de referencia. Además, deberá estar provisto de los valores característicos de cada uno de los elementos. Todos estos esquemas se pueden desarrollar de una manera uniforme y estructurada utilizando como guía el flujo de información definido por la cadena de mando. Así, se puede establecer unas referencias de buenas prácticas:

Tabla 4.3.- Referencia de buenas prácticas para la confección de esquemas y diagramas.

#### Pasos para el desarrollo de esquemas:

1. Agrupar componentes con funciones similares. Por ejemplo, en el bloque de entrada de señales: siempre que sea posible deberían agruparse todos los sensores procedentes de la parte operativa.
2. Minimizar el número de líneas que se cruzan en los esquemas de distribución de potencial y control.
3. Realizar planos y dibujos con una metodología uniforme, estandarizando la lectura de los mismos.
4. Y una vez finalizados, y no menos importante, se deberán revisar con exactitud. Y asegurarse de que el funcionamiento y control establecido en los esquemas cumple con los requerimientos establecidos.

Resultado de esta labor será la documentación técnica, que es un requisito previo esencial para facilitar el montaje, la puesta a punto y el

mantenimiento del sistema diseñado. La documentación de las fases individuales, incluyendo programas de control, se dispondrá tanto en soporte papel como en soporte digital. Por tanto, la documentación constituye un elemento necesario para el estudio del sistema pero, realizando un símil con la ciencia de la medicina, debe ser la historia clínica del proyecto. Además, esta información permite realizar ampliaciones o modificaciones posteriores y, por supuesto, servir de fuente de información para otros planteamientos o problemas. Ni que decir tiene, las consecuencias que se pueden producir si el estado real de la instalación no coincide con el de la documentación (volviendo al símil de la medicina: ¿qué podría ocurrir si la historia clínica no coincide con el estado real del paciente?).

#### **4.4 Montaje y Pruebas experimentales**

##### **4.4.1 Montaje y verificación.**

A continuación, se realiza la implementación del sistema oleoneumático diseñado, que consta de su montaje y la verificación del mismo con toda la labor e información generada en las etapas anteriores. Esta etapa, para el trabajo de esta Tesis, se ha desarrollado en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol. A continuación, se muestra una descripción resumida de las capacidades del mismo.



Tabla 4.4.1.1.- Dotación básica del Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la EPS de Ferrol.

**Dotación básica del Laboratorio de Hidráulica y Neumática**

- 7 Simuladores de tecnología neumática, que permiten disponer las siguientes unidades de trabajo.
  - 6 unidades de neumática y de vacío.
  - 7 unidades de electroneumática.
  - 2 unidades de neumática proporcional
- 6 Simuladores de hidráulica que permiten disponer de 6 unidades de la tecnología oleohidráulica
- 6 Simuladores de electrohidráulica que permiten disponer de unidades de trabajo de la tecnología electrohidráulica e hidráulica proporcional.
- Unidades de control de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos.
  - 12 Microcontroladores
  - 18 Controladores PLC´s de diferentes características.
  - 6 Tarjetas PID
  - Software de control y HMI.
  - Equipos informáticos.
- Amplia y variada instrumentación para el control.
- Aparamenta eléctrica.
- Despieces de diferente material oleohidráulico y neumático.
- Aparatos de medida y un osciloscopio digital.
- Variadores de potencia.

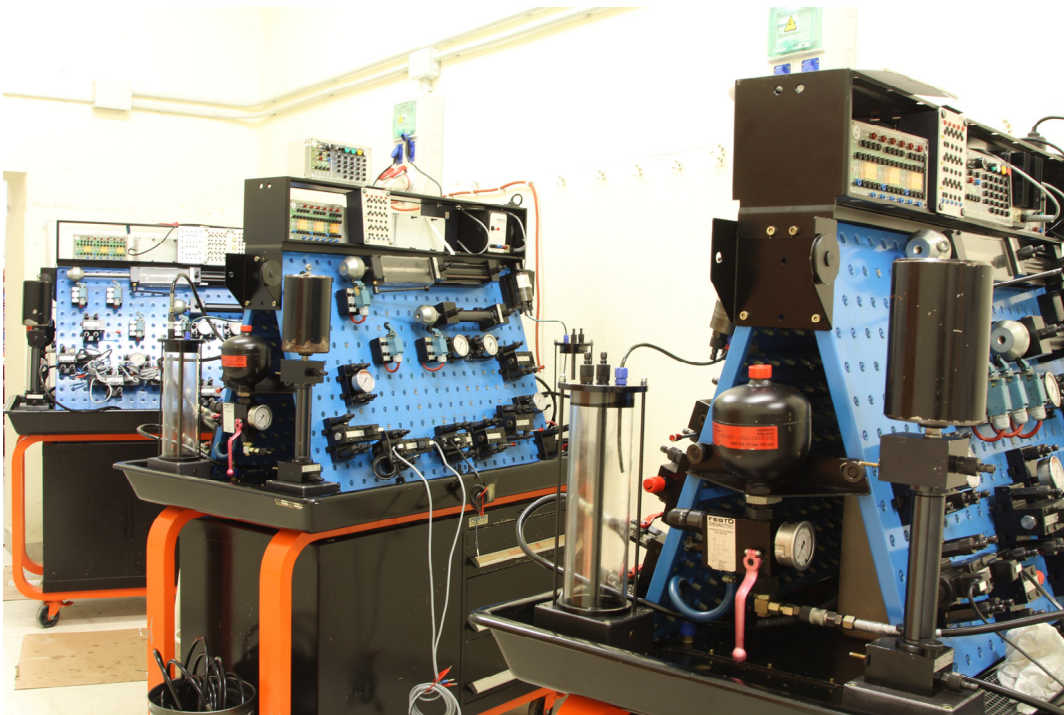


Figura 4.4.1.1.- Sección de Oleohidráulica del Laboratorio en la EPS de Ferrol.

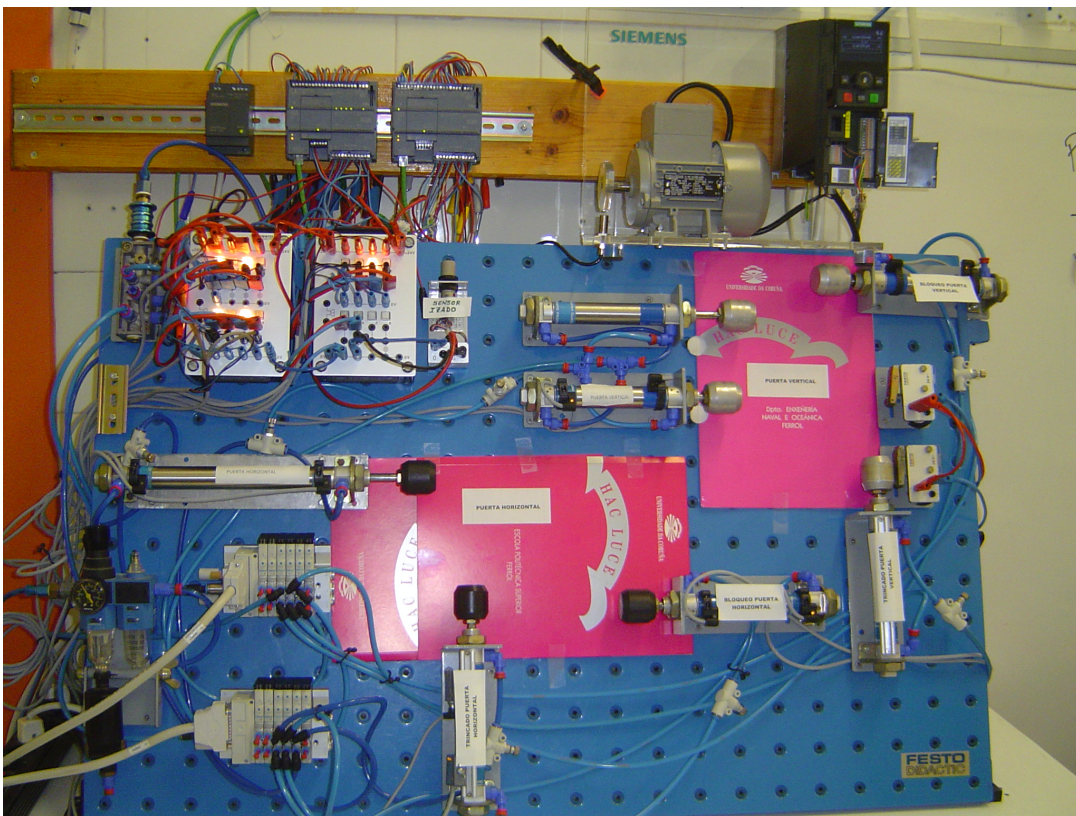


Figura 4.4.1.2.- Panel de ensayo de Electroneumática.

La capacidad del Laboratorio permite experimentar en el diseño y desarrollo de diferentes sistemas o soluciones con tecnología oleohidráulica y neumática para el ámbito industrial. Su gran dotación permitirá montar, simultáneamente, las diferentes soluciones para cada planteamiento o estudio y hacer, de esta manera, una valoración comparativa más eficiente.

Otro aspecto relevante es la metodología de montaje, de las distintas soluciones diseñadas. Para llevar a buen fin esta labor se han establecido algunas pautas fundamentales que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4.4.1.2.- Pasos para el montaje y su verificación.

| <b>Pasos para el montaje y su verificación.</b>  |
|--|
| 1. Respetar las normas y recomendaciones de seguridad.   |
| 2. Recurrir a los esquemas de distribución y asegurarse de que están a mano.   |
| 3. Preparar el sistema según el bloque al que pertenezca y según la lista de piezas.   |
| 4. Proceder al montaje según orden previamente definido: <ul style="list-style-type: none"><li>a. En la sección de potencia: ya sea empezando por el elemento de trabajo y terminando por la unidad de abastecimiento de energía o viceversa.</li><li>b. En la sección de control: desde las entradas procedentes de sensores y del HMI pasando por el controlador y finalmente las salidas (elementos de control de potencia, señalizaciones, etc.)</li></ul> |
| 5. Ir identificando en los esquemas los elementos que se vayan montando.   |
| 6. Si se trata de sistemas complejos, marcar debidamente las unidades y los conductos.   |
| 7. Seguir las reglas básicas para la instalación y conexión de componentes.  |
| 8. Verificar niveles (fluido,...) y ajustar los valores indicados en el esquema (presión, caudal, tensión,..).   |
| 9. Sólo después de haber revisado nuevamente el montaje y las conexiones de los elementos es recomendable poner en marcha el equipo.   |

#### 4.4.2 Pruebas Experimentales y Optimización.

Esta etapa sólo se realiza una vez completado el Montaje y hecho la verificación del mismo. En este punto, el objetivo fundamental es:

1. Eliminar cualquier fallo en la instalación o error creado durante las fases anteriores.
2. Comprobación y validación de la seguridad del sistema diseñado.
3. Análisis del proceso desde el punto de vista de la eficiencia energética y de la productividad.

En las Pruebas Experimentales se realiza un control completo y exhaustivo del funcionamiento, de las condiciones operativas y de la seguridad del sistema diseñado. Esta labor se desarrolla de manera sistemática y paso a paso, guiándose con los diagramas y esquemas del sistema oleoneumático diseñado. De esta forma, pueden detectarse y rectificarse más rápidamente tanto los fallos en su montaje como en su diseño. Además, deberá controlarse el perfecto estado de los componentes del sistema con especial atención en las zonas de contacto o impacto. Los resultados obtenidos serán contrastados con las condiciones definidas en la especificación lo que genera una realimentación que permitirá las modificaciones y ajustes en el sistema para subsanar cualquier deficiencia o mejorar el sistema.

Tabla 4.4.2.1 - Procedimiento para las Pruebas experimentales.

| Procedimiento para las pruebas experimentales   |
|---|
| 1. Sólo deben realizarse después de haber verificado plenamente el montaje del subsistema operativo y del subsistema de mando (lo que implica una verificación completa del programa de control). |
| 2. Respetar las normas y recomendaciones de seguridad.  |

**Procedimiento para las pruebas experimentales**

3. Recurrir a los esquemas y diagramas de funcionamiento y de montaje, y asegurarse de que están a mano.
4. Establecer un plan de pruebas, listando lo que debe verificarse individualmente y por quién.
5. Comprobar la funcionalidad y modos de servicio.
6. Verificar los valores límite.
7. Confrontar los tiempos de ciclo
8. Revisar y contrastar el comportamiento en paro de emergencia.
9. Confirmar y contrastar las condiciones especiales, etc.
10. Si se trata de sistemas complejos, marcar debidamente en el diagrama funcional lo comprobado e informar al resto de los miembros del equipo de prueba.
11. Documentar los resultados y generar el Know-How

El proceso de mejora del sistema pretende una optimización en las variables que determinan el consumo energético y la productividad. En algunos casos el rendimiento del proceso será inferior al que técnicamente puede conseguirse y, en consecuencia, se incrementarán los derroches y los costes operacionales. P.ej. es muy probable que la fuerza o par motor de un actuador neumático sea mayor que el requerido por las cargas, o se puede disponer de grupo hidráulico cuyo caudal sea mayor del que se necesita o, quizás, distribuir fluidos soportando unas caídas de presión que penalizan el sistema, o en el caso de cargas variables: una bomba o compresor de caudal constante puede no ser la solución más apropiada, etc. Como estos ejemplos, son muchas las condiciones de un proceso que hacen aparecer derroches. En este trabajo, la optimización se ha realizado a partir de las siguientes variables.

Tabla 4.4.2.2. - Variables de Optimización.

| Variables de optimización <sup>28</sup>   |
|---|
| 1. Caudal.                                |
| 2. Presión.                               |
| 3. Pérdidas de carga y caídas de presión. |
| 4. Fuerzas y pares generados.             |
| 5. Tiempos de ciclo                       |
| 6. Consumos energéticos.                  |

Por último, indicar que la Metodología y Procedimientos expuestos en este capítulo tienen como objeto optimizar la labor a realizar para encontrar la “solución al problema del diseño y desarrollo del sistema oleoneumático”. La labor de investigación a realizar, en todo momento, no debe perder de vista la economía de mercado en la que estamos inmersos y, en ese sentido, se busca aportar soluciones que responda a los atributos de: fiabilidad, calidad, versatilidad y seguridad y, lógicamente, todo ello al menor costo posible.

---

<sup>28</sup> Si se trata de sistemas complejos, emplear histogramas para un estudio continuo y en el tiempo de las variables

## 5. Caracterización teórica y experimental de los distribuidores de potencia





## 5 Caracterización teórica y experimental de los distribuidores de potencia

### 5.1 Introducción

Los distribuidores de potencia o válvulas direccionales son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección de la energía contenida en el fluido. “Energía” generada por una bomba hidráulica, compresor o almacenado en un depósito o en un acumulador y que se desea entregar a la unidad o unidades de trabajo para convertirla en trabajo mecánico. Por tanto, los distribuidores de potencia son los encargados de hacer efectivas las órdenes de mando sobre los actuadores del sistema.

Al seleccionar el distribuidor de potencia, es recomendable proceder paso a paso:

1. En primer término, debe determinarse el tipo de válvula (p. ej. electroválvula hidráulica 4/3 monoestable servopilotada PABT). Esta decisión se toma conociendo la tarea que debe cumplir la válvula pero, siempre, en consonancia con el circuito fluídico de potencia a diseñar.
2. En segundo lugar, su capacidad (de caudal y presión) para responder de forma adecuada y segura a los requerimientos del elemento de trabajo a gobernar en el lugar a instalar. Para ello, se debe tener en cuenta los datos técnicos, la ubicación, el fluido empleado, su instalación, el mantenimiento y los repuestos, entre otros.
3. En tercer lugar, sus características y opciones de accionamiento que permitan al subsistema de control su gobierno y su control. Se incluye su comportamiento en el caso de un corte de energía.
4. y, por supuesto, el precio y los repuestos.

En este capítulo, se estudia el distribuidor de potencia que más se adecua al sistema electrohidráulico o electroneumático a diseñar, centrándose en el

punto de vista de funcionalidad, comportamiento y control. Este análisis del distribuidor se realiza en dos vertientes:

1. una caracterización estática que determinará, fundamentalmente, su funcionalidad y su control.
2. una caracterización dinámica que condicionará su comportamiento y, también, su control.

Por otro lado, existen otros elementos fluídicos (válvulas reguladoras de caudal y reguladoras de presión, válvulas antirretorno y de bloqueo entre otras) que repercuten sobre la funcionalidad y el comportamiento de los distribuidores de potencia. Por tanto, sólo ceñirse a aspectos específicos del distribuidor no garantiza escoger el correcto. Este es uno de los matices que más diferencia la automatización de los sistemas oleoneumáticos industriales con respecto a otras tecnologías, "la necesidad de un profundo conocimiento de la tecnología fluídica de potencia no sólo para llevar a buen fin la automatización sino para hacerla segura". En este sentido, en esta Tesis, se irán tratando y ejemplarizando los aspectos más significativos de esta tecnología que repercuten y condicionan la automatización de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos.

## 5.2 Caracterización estática

Como bien se ha dicho, los distribuidores de potencia o válvulas direccionales son los componentes de control que determinan el camino del fluido entre sus conexiones: cerrando o cambiando sus vías internas. A través de ellos, por ejemplo, se puede controlar los diferentes estados de movimiento de los actuadores hidráulicos y neumáticos o controlar la presencia de potencia fluídica en el sistema.

Sin necesidad de tratar la forma constructiva de los distribuidores de potencia, su funcionamiento se puede catalogar según: el número de conexiones útiles controladas (no se contabilizan ni drenajes ni conexiones de pilotaje), el número posible de posiciones de maniobra, su posición normal o de reposo ("no

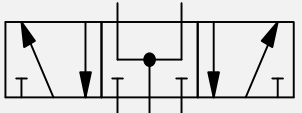
activada”) y el método de accionamiento o pilotaje. En terminología normalizada, y según norma ISO 1219<sup>29</sup>, las válvulas direccionales se designan según estos dos números. Por ejemplo, la válvula direccional o distribuidor 4/2, significa 4 conexiones útiles y 2 posiciones. A mayores se introduce, en la designación de la válvula, la posición de reposo si existe. En la siguiente tabla, se muestra la designación y el símbolo de los distribuidores más empleados. También se muestra su acrónimo.

Tabla 5.2.1.- Designación de los Distribuidores de Potencia según ISO 1219.

| Designación  | Símbolo |
|--|---------|
| Válvula direccional 2/2 normalmente cerrada<br>Acrónimo “VD 2/2 NC”  |         |
| Válvula direccional 2/2 normalmente abierta<br>Acrónimo “VD 2/2 NA”  |         |
| Válvula direccional 3/2 normalmente cerrada<br>Acrónimo “VD 3/2 NC”  |         |
| Válvula direccional 3/2 normalmente abierta<br>Acrónimo “VD 3/2 NA”  |         |
| Válvula Direccional 4/2 (con posición de reposo cruzadas)<br>Acrónimo “VD 4/2 PB/AT” (hidráulica)<br>Acrónimo “VD 4/2 PB/AR” (neumática) |         |

<sup>29</sup> ISO 1219-1:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications

| Designación   | Símbolo |
|---|---------|
| Válvula Direccional 4/2 (con posición de reposo paralelas)<br>Acrónimo "VD 4/2 PA/BT" (hidráulica)<br>Acrónimo "VD 4/2 PA/BR" (neumática) |         |
| Válvula Direccional 5/2<br>Acrónimo "VD 5/2"  |         |
| Distribuidor 4/3 con posición central cerrada<br>Acrónimo "VD 4/3 P/A/B/T" (hidráulica)   |         |
| Distribuidor 4/3 con posición central cortocircuitada o "bypass"<br>Acrónimo "VD 4/3 PT/A/B" (hidráulica)                                 |         |
| Distribuidor 4/3 con posición central libre<br>Acrónimo "VD 4/3 P/ABT" (hidráulica)   |         |
| Distribuidor 4/3 con posición central abierta<br>Acrónimo "VD 4/3 PABT" (hidráulica)  |         |
| Distribuidor 4/3 con posición central regenerativa<br>Acrónimo "VD 4/3 PAB/T" (hidráulica)  |         |
| Distribuidor 5/3 con posición central cerrada<br>Acrónimo "VD 5/3 P/A/B/R/S" (neumática)  |         |
| Distribuidor 5/3 con posición central libre<br>Acrónimo "VD 5/3 P/AR/BS" (neumática)  |         |

| Designación  | Símbolo   |
|--|---|
| Distribuidor 5/3 con posición central presurizada<br>Acrónimo “VD 5/3 PAB/R/S” (neumática) |  |

Las conexiones de entrada y salida de las válvulas direccionales están debidamente señalizadas para evitar equivocaciones al efectuar el montaje. Los estándares ISO 9461 e ISO 11727 definen, respectivamente, las designaciones de las conexiones útiles, por letras, para hidráulica y, por cifras, para neumática.

Tabla 5.2.2.- Designación normalizada de conexiones .

| Designación                                    | Por letras | Por cifras    |
|--|------------|---------------|
| Conexiones de trabajo                          | A, B, C,.. | 2, 4, 6,..    |
| Conexión de presión<br>Alimentación de energía | P          | 1             |
| Escapes, retornos                              | R, S, T    | 3, 5, 7,...   |
| Drenajes                                       | L          | 82, 84        |
| Conexiones de mando<br>Pilotajes               | X, Y, Z    | 10, 12, 14... |

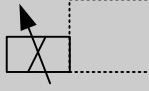
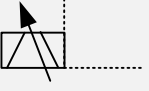
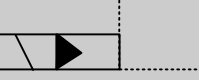

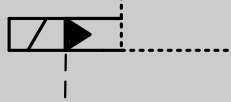

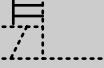
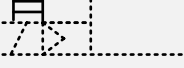


Actualmente en tecnología neumática, los fabricantes acompañan la identificación por números con las letras (normalmente entre paréntesis). La razón de esto, se argumenta en la significancia de algunas letras de las conexiones con su función (P= “presión” o “pressure”, T= “tanque” o “tanque” o “tank”, L=“loss”).


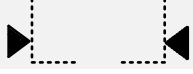
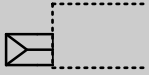
Para completar la designación de los distribuidores se le añade el medio de accionamiento o pilotaje y su forma de reposición o retorno. El pilotaje

conmuta y establece las distintas posiciones activas de la válvula. Y el retorno ubica a la válvula en su situación de reposo. En la siguiente tabla, se muestran los accionamientos y retornos más habituales y su designación abreviada para el campo de la electrohidráulica y electroneumática:

Tabla 5.2.3.- Medios de accionamiento de los Distribuidores de Potencia según ISO 1219.

| Designación   | Símbolo |
|---|---------|
| <p>Accionamiento electromagnético por bobina o solenoide con un arrollamiento (simple efecto) y sentido de actuación hacia dentro de la válvula</p> <p>Abreviada: “por bobina de simple efecto”</p>                         |         |
| <p>Accionamiento electromagnético por bobina o solenoide con un arrollamiento (simple efecto) y sentido de actuación hacia fuera de la válvula</p> <p>Abreviada: “por bobina de simple efecto de actuación hacia fuera”</p> |         |
| <p>Accionamiento electromagnético por bobina o solenoide con dos arrollamientos operando con sentidos contrarios (doble efecto)</p> <p>Abreviada: “por bobina doble efecto”</p>   |         |
| <p>Accionamiento por motor paso a paso</p>  |         |
| <p>Accionamiento electromagnético por bobina o solenoide con un arrollamiento de acción variable progresiva y sentido de actuación hacia dentro de la válvula.</p> <p>Abreviada: “ por bobina proporcional”</p>             |         |

| Designación   | Símbolo   |
|---|---|
| <p>Accionamiento electromagnético por bobina o solenoide con un arrollamiento de acción variable progresiva y sentido de actuación hacia fuera de la válvula</p> <p>Abreviada: “ por bobina proporcional de actuación hacia afuera”</p> |    |
| <p>Accionamiento electromagnético por bobina o solenoide con dos arrollamientos de acción progresiva operando con sentidos contrarios (doble efecto)</p> <p>Abreviada: “por bobina proporcional de doble efecto”</p>                    |    |
| <p>Accionamiento servopilotado por presión hidráulica y por válvula piloto controlada electromagnéticamente.</p> <p>Abreviada: “electropilotado hidráulicamente”</p>  |   |
| <p>Accionamiento servopilotado por presión neumática y por válvula piloto controlada electromagnéticamente.</p> <p>Abreviada: “electropilotado neumáticamente”</p>  |  |
| <p>Accionamiento servopilotado por presión hidráulica externa y por válvula piloto controlada electromagnéticamente.</p> <p>Abreviada. “electropilotado hidráulicamente externamente”</p>   |  |
| <p>Accionamiento servopilotado por presión neumática externa y por válvula piloto controlada electromagnéticamente.</p> <p>Abreviada: “electropilotado neumáticamente”</p>  |  |
| <p>Accionamiento manual</p>   |  |
| <p>Accionamiento manual servopilotado neumáticamente</p>  |  |
| <p>Accionamiento manual servopilotado hidráulicamente</p>   |  |
| <p>Retorno por muelle o resorte.</p>  |  |

| Designación   | Símbolo   |
|---|---|
| Centraje por muelles                                    |  |
| Centraje por presión hidráulica (o “muelle hidráulico”) |  |
| Retorno por presión neumática (o “muelle neumático”)    |  |

Es significativo, señalar que:

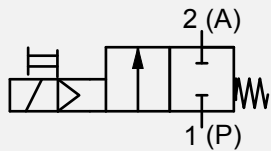
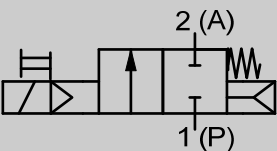
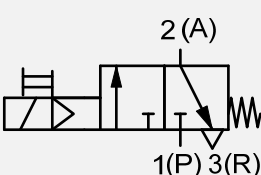
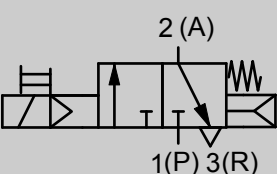
- i. la posición de reposo es aquella que el distribuidor de potencia asume cuando se le retira la fuerza de accionamiento y será donde se identifican las conexiones útiles de la válvula. Y en este sentido, no todos los distribuidores dispone de una posición de reposo: así, la “válvula direccional 5/2 accionada por bobina de simple efecto por ambos lados” indica que dispone de dos posiciones de maniobra o activas que se accionan mediante pulsos de señal eléctricas a cualquiera de sus dos solenoides electromagnéticas. De esta designación del distribuidor se infiere que no existe una posición de reposo y que, por tanto, la identificación de las conexiones se deberá realizar en el estado activo que asume la válvula cuando el sistema oleoneumático está en posición inicial.
- ii. El carácter monoestable y biestable del distribuidor de potencia esta caracterizado por el accionamiento y su forma de retorno. Así, en:
  - a. Las *electroválvulas de tipología monoestable*: tienen una posición preferencial definida o de reposo, a la cual vuelven automáticamente cuando desaparece la señal de mando del accionamiento eléctrico. Normalmente, la reposición se realiza por muelle aunque también puede ser por presión.

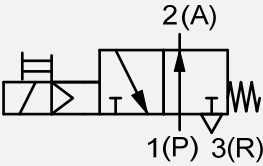
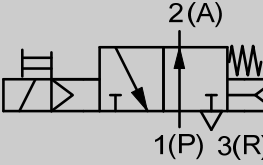
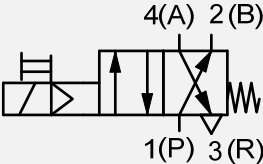
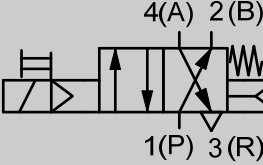
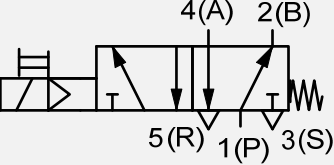
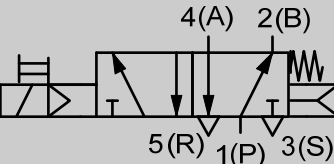


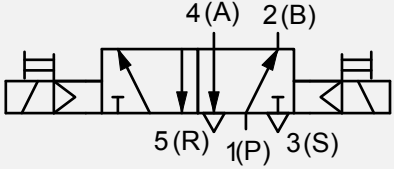
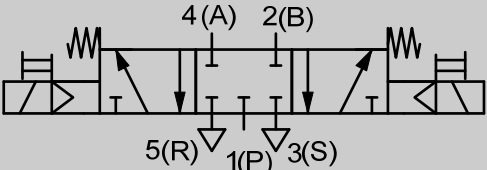
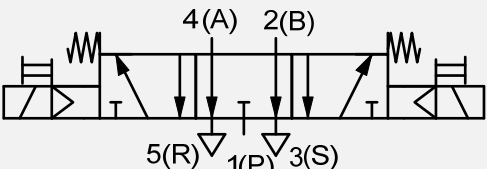
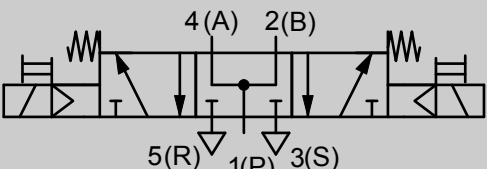
- b. Las *electroválvulas de tipología biestable*: no tienen posición preferencial definida o de reposo y puede permanecer en cualquier de sus posiciones mientras no se active otra señal diferente de mando. En esta tipología no es necesario mantener la orden de mando para mantener la posición (basta un pulso de señal eléctrica al accionamiento eléctrico).

A continuación, se detallan los distribuidores de potencia utilizados con mayor frecuencia en la Electroneumática.

Tabla 5.2.4.- Electroválvulas neumáticas.

| Símbolo   | Designación detallada / Designación abreviada  |
|---|--|
|  | <p>Válvula direccional neumática 2/2, normalmente cerrada, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle.</p> <p><i>VD servopilotada 2/2 NC monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 2/2 NC</i></p>               |
|  | <p>Válvula direccional neumática 2/2, normalmente cerrada, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle y por presión.</p> <p><i>VD servopilotada 2/2 NC monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 2/2 NC</i></p> |
|  | <p>Válvula direccional neumática 3/2, normalmente cerrada, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle.</p> <p><i>VD servopilotada 3/2 NC monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 3/2 NC</i></p>               |
|  | <p>Válvula direccional neumática 3/2, normalmente cerrada, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle y por presión.</p> <p><i>VD servopilotada 3/2 NC monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 3/2 NC</i></p> |

| Símbolo   | Designación detallada / Designación abreviada   |
|---|---|
|    | <p>Válvula direccional neumática 3/2, normalmente abierta, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle.</p> <p><i>VD servopilotada 3/2 NA monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 3/2 NA</i></p>                                  |
|    | <p>Válvula direccional neumática 3/2, normalmente abierta, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle y por presión.</p> <p><i>VD servopilotada 3/2 NA monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 3/2 NA</i></p>                    |
|   | <p>Válvula direccional neumática 4/2, con posición reposo cruzadas, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle.</p> <p><i>VD servopilotada 4/2 (PB/AR) monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 4/2 (PB/AR)</i></p>               |
|  | <p>Válvula direccional neumática 4/2, con posición reposo cruzadas, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle y por presión.</p> <p><i>VD servopilotada 4/2 (PB/AR) monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 4/2 (PB/AR)</i></p> |
|  | <p>Válvula direccional neumática 5/2 electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle.</p> <p><i>VD servopilotada 5/2 (PB/AR/S) monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 5/2 (PB/AR/S)</i></p>  |
|  | <p>Válvula direccional neumática 5/2 electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle y por presión.</p> <p><i>VD servopilotada 5/2 (PB/AR/S) monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 5/2 (PB/AR/S)</i></p>                            |

| Símbolo   | Designación detallada / Designación abreviada  |
|---|--|
|    | <p>Válvula direccional neumática 5/2 electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado por ambos lados.</p> <p><i>VD 5/2 servopilotada (PB/AR/S) biestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula biestable servopilotada 5/2 (PB/AR/S)</i></p>  |
|    | <p>Válvula direccional neumática 5/3, con posición central cerrada, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado por ambos lados y centraje por muelles.</p> <p><i>VD 5/3 servopilotada con posición central cerrada (P/A/B/R/S) monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 5/3 con posición central cerrada (P/A/B/R/S)</i></p>      |
|   | <p>Válvula direccional neumática 5/3, con posición central libre, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado por ambos lados y centraje por muelles.</p> <p><i>VD 5/3 servopilotada con posición central libre (P/AR/BS) monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula monoestable servopilotada 5/3 con posición central libre (P/AR/BS)</i></p>                |
|  | <p>Válvula direccional neumática 5/3, con posición central en presión, electropilotada neumáticamente o accionamiento manual servopilotado por ambos lados y centraje por muelles.</p> <p><i>VD 5/3 servopilotada con posición central en presión (PAB/R/S) monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 5/3 monoestable servopilotada con posición central en presión (PAB/R/S)</i></p> |

Actualmente, en el campo de la electroneumática:

- ✓ existe un predominio del accionamiento servopilotado (o también denominado accionamiento indirecto). Las válvulas direccionales servopilotadas necesitan mínimas fuerzas para su activación. Esto permite minimizar tamaños y consumos eléctricos al poder emplear bobinas de pequeño tamaño independientemente de su tamaño nominal (e indirectamente de su caudal y presión de trabajo).

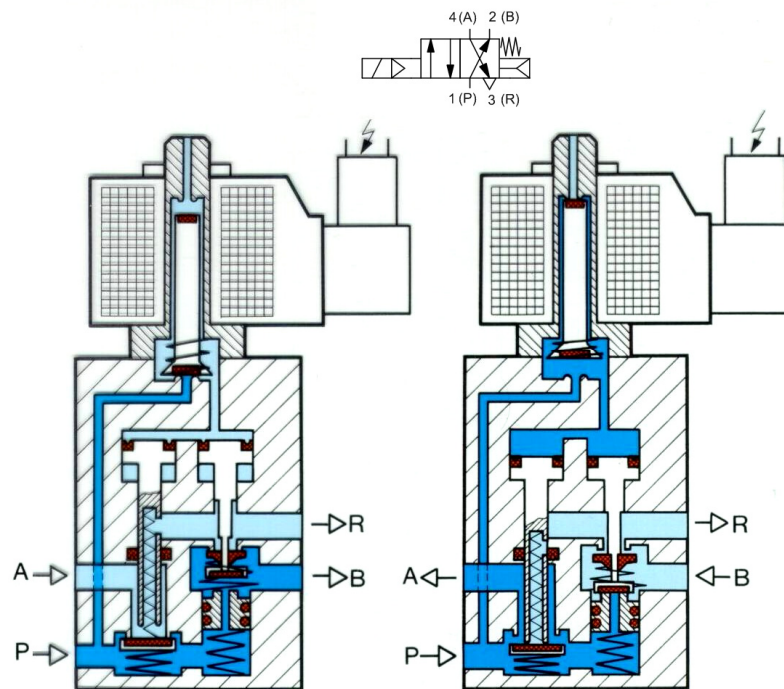


Figura 5.2.1.- Electroválvula monoestable servopilotada 4/2 (empresa Festo).

- ✓ En la designación de la electroválvulas neumáticas, es típico, que se prescindiera del atributo servopilotado con objeto de abreviar su identificación en el ámbito del montaje (quizá, también, por deformación profesional, al entenderse que es el que se presenta por defecto). En esta Tesis, se considera tal criterio.
- ✓ Actualmente, los fabricantes más importantes, en las electroválvulas de tipología monoestable han conjugado la reposición por muelle con la reposición por presión neumática (también, conocida como “muelle neumático”). Esta redundancia mejora el tiempo reposición al estado de reposo pero, además, permite el montaje de válvulas en posición no horizontal.
- ✓ Los dos métodos principales de construcción, empleados en las válvulas direccionales, son de asiento y de corredera con junta metálicas o elásticas. Lo más habitual, es que se emplee el tipo asiento para dos o menos posiciones y el de corredera para tres posiciones aunque, también, se usa con

dos. Estas dos construcciones condicionan la hermetización de sus cierres y repercuten en el comportamiento dinámico de los actuadores. Desde el punto de la hermetización: las válvulas de corredera presenta un fuga controlada, que lubrica y refrigera la corredera del distribuidor, pero limita la parada de los actuadores a períodos cortos (caso de la VD 4/3 posición central cerrada); y en cambio, la válvula asiento permite cierre hermético y paradas prolongadas. Pero, en contrapartida, las fuerzas de accionamiento son mayores, además de presentar el inconveniente de una fabricación más compleja para más de tres conexiones. Estos inconvenientes encarecen notablemente sus costes de producción.

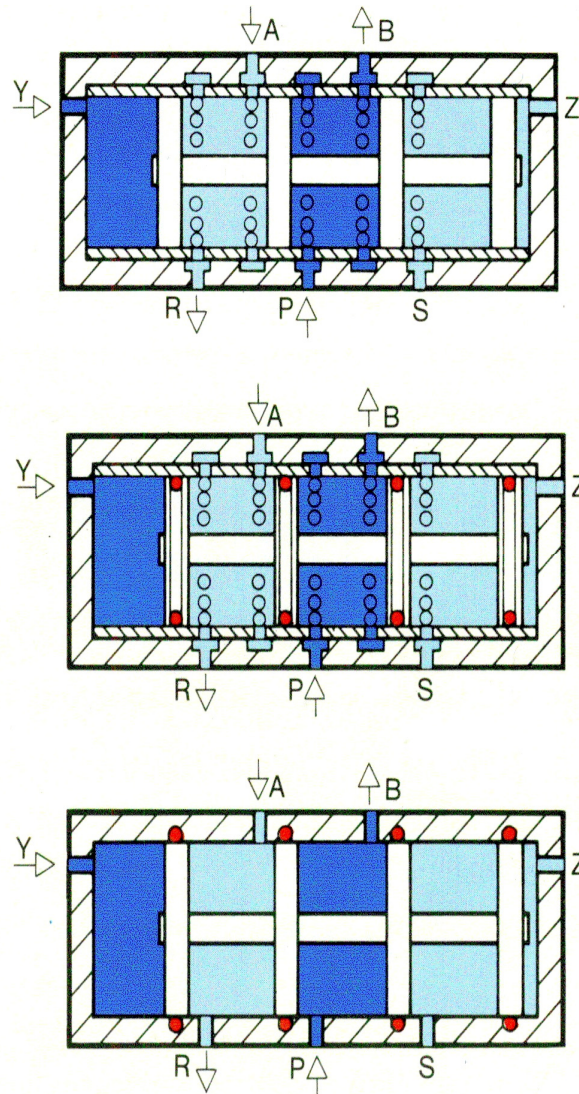
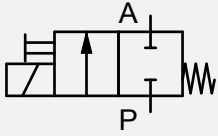
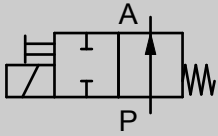
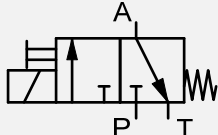


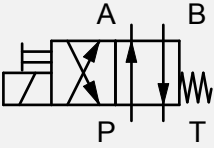
Figura 5.2.2.- Métodos de estanqueidad en distribuidores neumáticos (empresa Festo).

La hermetización de la corredera con el cuerpo de la válvula puede efectuarse por ajuste exacto. El juego está comprendido entre 0,002 a 0,004 mm, puesto que de lo contrario se producen grandes pérdidas por fugas. Actualmente, en vez de emplear estos ajustes caros, se opta por la hermetización con juntas tóricas de doble vaso montadas sobre la corredera, o juntas tóricas fijas en el cuerpo. Además, con el fin de reducir el peligro de un deterioro de estos elementos de estanqueidad por cortadura en los orificios de acoplamiento interiores, se reparte la superficie de paso en pequeños orificios.

En la siguiente tabla, se muestran los distribuidores de potencia mayormente utilizados en el campo de la Electrohidráulica:

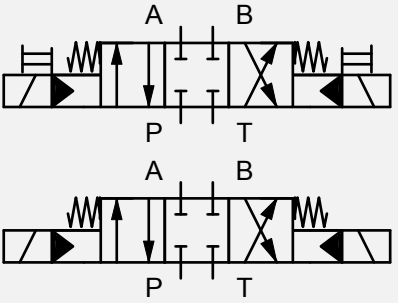
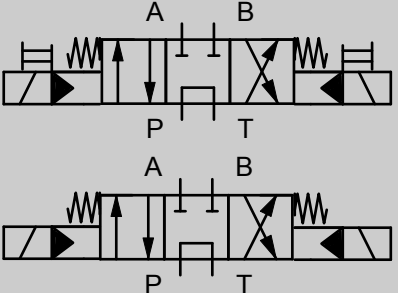
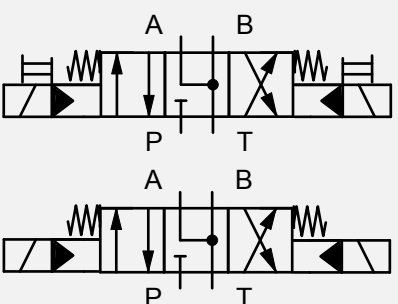
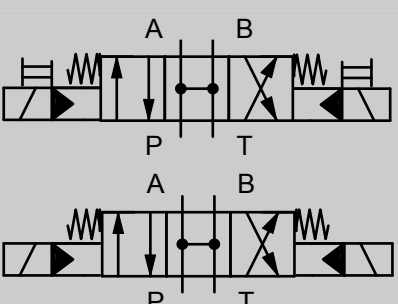
Tabla 5.2.5.- Electroválvulas hidráulicas.

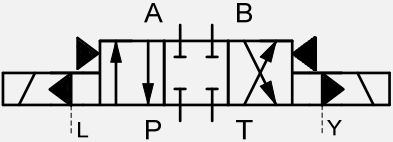
| <b>Símbolo</b>  | <b>Designación detallada / Designación abreviada</b>  |
|---|---|
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 2/2, normalmente cerrada, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y retorno por muelle.</p> <p><i>VD 2/2 NC monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 2/2 monoestable NC</i></p> |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 2/2, normalmente abierta, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y retorno por muelle.</p> <p><i>VD 2/2 NA monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 2/2 monoestable NA</i></p> |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 3/2, normalmente cerrada, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y retorno por muelle.</p> <p><i>VD 3/2 NC monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 3/2 monoestable NC</i></p> |

| Símbolo   | Designación detallada / Designación abreviada   |
|---|---|
|    | <p>Válvula direccional hidráulica 3/2, normalmente abierta, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y retorno por muelle.</p> <p><i>VD 3/2 NA monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 3/2 monoestable NA</i></p>                           |
|    | <p>Válvula direccional hidráulica 4/2, con posición reposo paralelas, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y retorno por muelle.</p> <p><i>VD 4/2 PA/BT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/2 monoestable PA/BT</i></p>           |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/2, con posición reposo cruzadas, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y retorno por muelle.</p> <p><i>VD 4/2 PB/AT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/2 monoestable PB/AT</i></p>            |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/2, con posición reposo paralelas, electro-pilotada hidráulicamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle.</p> <p><i>VD servopilotada 4/2 PA/BT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/2 monoestable servopilotado PA/BT</i></p> |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/2 con posición reposo cruzadas electro-pilotada hidráulicamente o accionamiento manual servopilotado y retorno por muelle.</p> <p><i>VD servopilotada 4/2 PB/AT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/2 monoestable servopilotado PB/AT</i></p>    |

| Símbolo   | Designación detallada / Designación abreviada  |
|---|--|
|    | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central cerrada, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y centraje por muelles.</p> <p><i>VD 4/3 P/A/B/T monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable P/A/B/T</i></p>       |
|   | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central cortocircuitada, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y centraje por muelles.</p> <p><i>VD 4/3 PT/A/B monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable PT/A/B</i></p> |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central libre, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y centraje por muelles</p> <p><i>VD 4/3 P/ABT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable P/ABT</i></p>              |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central abierta, accionada electromagnéticamente por bobina con un arrollamiento o accionada manualmente y centraje por muelles</p> <p><i>VD 4/3 PABT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable PABT</i></p>              |




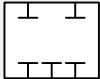

| Símbolo   | Designación detallada / Designación abreviada  |
|---|--|
|    | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central cerrada, electro-pilotada hidráulicamente o accionamiento manual servopilotado y centraje por muelles.</p> <p><i>VD servopilotada 4/3 P/A/B/T monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada P/A/B/T</i></p>       |
|   | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central cortocircuitada, electro-pilotada hidráulicamente o accionamiento manual servopilotado y centraje por muelles.</p> <p><i>VD servopilotada 4/3 PT/A/B monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada PT/A/B</i></p> |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central libre, electro-pilotada hidráulicamente o accionamiento manual servopilotado y centraje por muelles.</p> <p><i>VD servopilotada 4/3 P/ABT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada P/ABT</i></p>             |
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central abierta, electro-pilotada hidráulicamente o accionamiento manual servopilotado y centraje por muelles.</p> <p><i>VD servopilotada 4/3 PABT monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada PABT</i></p>             |




| Símbolo   | Designación detallada / Designación abreviada   |
|---|---|
|  | <p>Válvula direccional hidráulica 4/3, con posición central cerrada, electro-pilotada hidráulicamente por depresión y centraje por muelles.</p> <p><i>VD servopilotada por depresión 4/3 P/A/B/T monoestable eléctrico</i><br/> <i>Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada por depresión P/A/B/T</i></p> |


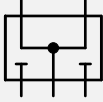
Por tanto, como se ha mostrado, existen numerosas variantes de válvulas distribuidoras que, además, pueden ser de tamaños muy diferentes.

Para el desarrollo del mando, el diseñador necesita caracterizar el comportamiento de los distribuidores de potencia a efectos de control en relación a sus accionamientos y a sus diferentes estados o posiciones. Y en este último sentido, y para las válvulas de tres posiciones, se resumen los criterios sobre la selección y uso de “los centros” más empleados en las electroválvulas 4/3 y 5/3.

Tabla 5.2.6.- Criterios de selección y uso de la posición central de las electroválvulas 4/3 y 5/3.

| Posición central  |   | Descripción / Usos   |
|---|---|--|
| Hidráulica  | Neumática   |  |
|    |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evita la caída de presión durante la fase de conmutación pero, en contrapartida, puede generar puntas de presión.</li> <li>2. La presión se mantiene en el orificio P, y el actuador arranca con presión máxima de servicio.</li> <li>3. Además, en Electrohidráulica :             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Con bomba de caudal constante: se produce descargar al taraje de la válvula limitadora → “gran derroche de energía”.</li> <li>b. Con bomba de caudal variable compensada: la limitadora permanece cerrada y la potencia disipada en el circuito es mínima.</li> </ol> </li> </ol> <p><i>Circuito con varios actuadores de doble efecto, preferentemente para trabajar de forma no simultánea y con posibilidad de detener el actuador de manera breve en cualquier posición.</i></p>   |
|  |   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. No se producen puntas de presión en la posición central.</li> <li>2. La presión en el orificio P depende de la caída presión del distribuidor y de la línea de retorno.</li> <li>3. Actuador queda en situación “libre”.</li> <li>4. Sólo permite el accionamiento de una cadena de mando.</li> <li>5. Además :             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Con bomba de caudal constante: se produce descarga a su través, y se minimiza, el derroche de energía (“la bomba trabaja en vacío”)</li> <li>b. Con bomba de caudal variable: se puede utilizar para fines de refrigeración.</li> </ol> </li> </ol> <p><i>Circuito de un único actuador de doble efecto lo que permite la descarga a baja presión del grupo hidráulico. Para retener, de manera segura y controlada, se puede emplear válvulas antirretornos desbloqueables y válvulas de freno.</i></p> |

| Posición central  |   | Descripción / Usos   |
|---|---|--|
| Hidráulica  | Neumática   |  |
|    |   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permite descargar la bomba a baja presión y retener la carga de manera breve (sus utilizaciones están cerradas).</li> <li>2. La presión en el orificio P depende de la caída presión del distribuidor a su través (mayor que el resto de los otras posiciones) y de la línea de retorno.</li> <li>3. Además :             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Con bomba de caudal constante: se produce descarga a su través, y se minimiza, el derroche de energía (“la bomba trabaja en vacío”)</li> <li>b. Con bomba de caudal variable: se puede utilizar para fines de refrigeración.</li> </ol> </li> </ol> <p><i>Circuito de un único actuador de doble efecto, lo que permite la descarga a baja presión del grupo hidráulico. El actuador se puede parar y retener en cualquier posición de manera breve.</i></p>   |
|  |  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Provoca la despresurización de las utilizaciones (conexiones al actuador) y mantiene en el orificio P la presión máxima de servicio lo que permite el accionamiento de varias cadenas de mando.</li> <li>2. El actuador se encuentra libre y permite su movimiento manual. No habrá desplazamiento si las fuerzas de rozamiento émbolo/camisa exceden a las fuerzas exteriores.</li> <li>3. Idóneo para acompañar de elementos de bloqueo (antirretornos desbloqueables y válvulas de freno) para la retención segura y prolongada del actuador</li> <li>4. Además, en Electrohidráulica: con motores hidráulicos y acompañado de válvulas de freno minimiza el efecto “bomba” (“freewheeling”) y reduce los golpes de ariete en la conmutación.</li> </ol> <p><i>Circuito con varios actuadores de doble efecto, preferentemente para trabajar de forma no simultánea y con posibilidad de detener el actuador de manera prolongada y segura mediante elementos de bloqueo (válvulas antirretorno desbloqueables y válvulas de freno)</i></p> |

| Posición central  |   | Descripción / Usos  |
|---|---|---|
| Hidráulica  | Neumática   |   |
|  |  | <p>1. Presuriza las utilizaciones (conexiones al actuador), lo cual en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Actuadores sin vástago o rotativos → produce bloqueo por presión.</li> <li>b. Actuadores (cilindros con vástago) →                             <ul style="list-style-type: none"> <li>i. Hidráulica: produce circuitos regenerativos de flujo que aumentan notablemente la velocidad del actuador (pero disminuye su capacidad de fuerza)</li> <li>ii. Neumática: produce que cilindro avance con fuerza aminorada.</li> </ul> </li> </ul> <p>En Neumática:<br/> <i>Es idóneo para el bloque por presión de cilindros sin vástago, de doble vástago o actuadores rotativos.</i></p> <p>En Hidráulica:<br/> <i>Es idóneo para incrementar la velocidad de los cilindros en la carrera en vacío o con baja carga.<br/>                     En cilindros de doble vástago bloquea por presión.<br/>                     En distribuidores servopilotados: se emplea para realizar el centrado por presión en los distribuidores 4/3 (es la posición de reposo de la válvula piloto 4/3 que introduce las señales de mando hidráulico).</i></p> |

Otro aspecto relevante para seleccionar el distribuidor adecuado es el tipo de accionamiento: directo o servopilotado (este último, también, denominado indirecto o precomando). Así, en una electroválvula de accionamiento directo la corredera principal se acciona directamente por el inducido o armadura de la bobina, abriendo o cerrando paso al flujo que se dirige a la unidad consumidora. Pero a medida que aumenta el tamaño de la válvula, implica utilizar inducidos y bobinas relativamente grandes para vencer las fuerzas estáticas y dinámicas que se producen en interior del distribuidor. Además, lógicamente, aumenta el muelle de reposición y los consumos eléctricos.

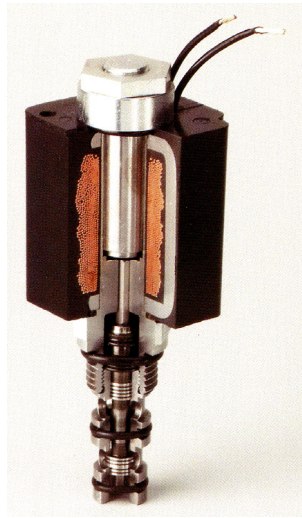


Figura 5.2.3.- Electroválvula 3/2 monoestable eléctrico (empresa Bosch-Rexroth).

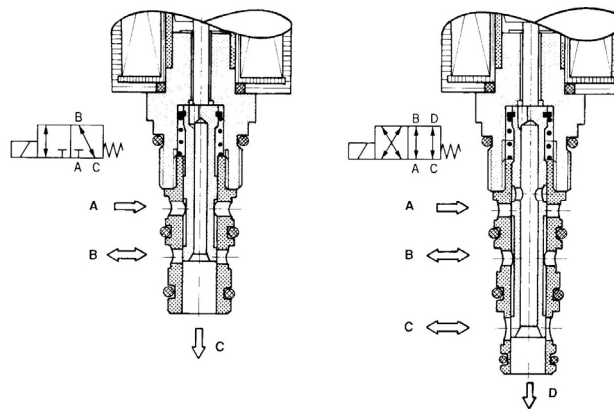


Figura 5.2.4.- Estructura de electroválvulas 3/2 y 4/2 monoestable de accionamiento directo (empresa Bosch-Rexroth).

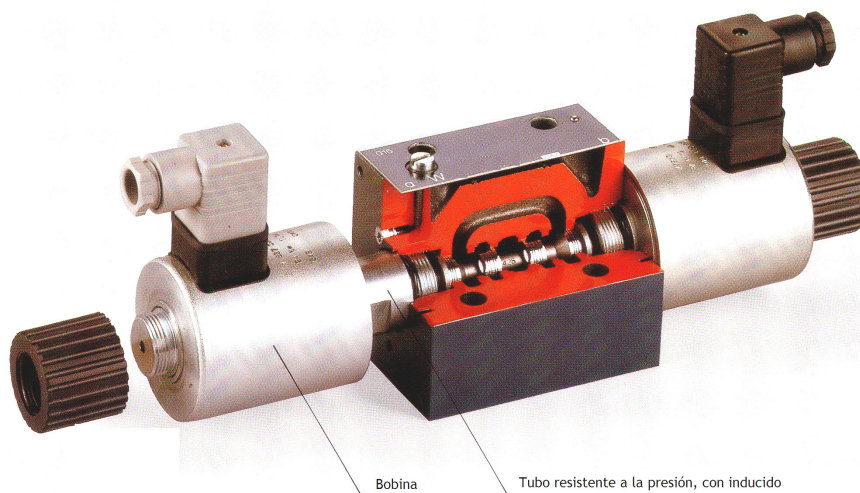


Figura 5.2.5.- Electroválvula hidráulica de corredera 4/3 de accionamiento directo (empresa Bosch-Rexroth).

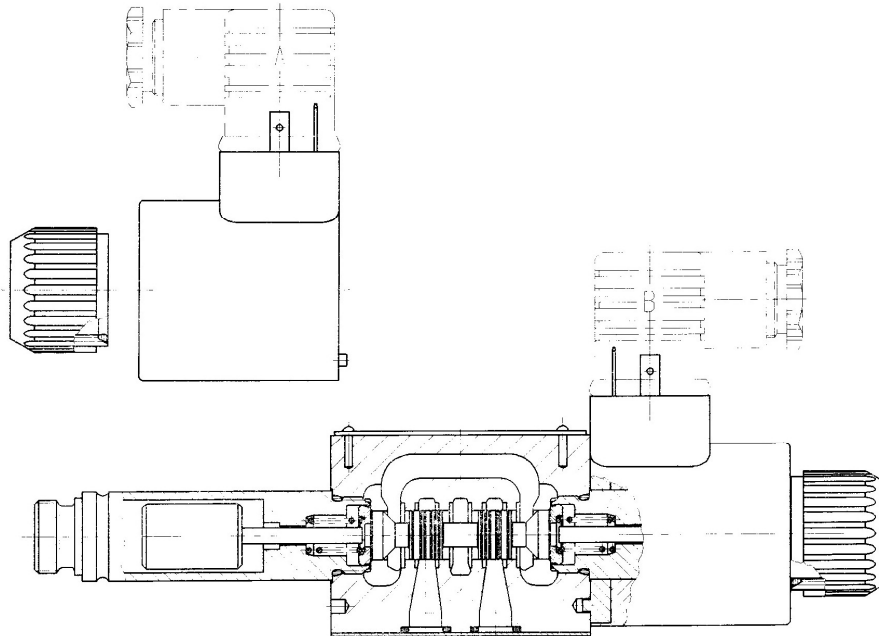


Figura 5.2.6.- Estructura de electroválvula 4/3 monoestable de accionamiento directo (empresa Bosch-Rexroth).

Actualmente, en la Electrohidráulica, el accionamiento electromagnético directo esta limitado a un tamaño nominal TN10 (a modo de referencia, corresponden a una potencia aproximada de 120 l/min a una presión de servicio de 350 Bar). Para tamaños mayores, el electroimán a emplear debe aplicar una fuerza relativamente grande y, por tanto, las electroválvulas se construyen con accionamiento servopilotado.

Una electroválvula servopilotada se compone de una válvula principal y otra pequeña válvula, denominada “válvula piloto”, accionada electromagnéticamente que introduce señales de presión de pilotaje a la principal, para su control. Al accionar eléctricamente la válvula piloto se transmite o amplifica una señal de fluido a través de un conducto de pilotaje que desplaza la corredera de la válvula principal. La fuerza necesaria de accionamiento de la válvula piloto es mínima ya que tiene un tamaño nominal pequeño (y por tanto sus bobinas también) y la magnitud de la señal de pilotaje se ajusta, con valor suficiente, para vencer las fuerzas a las que están sometidas la corredera principal.

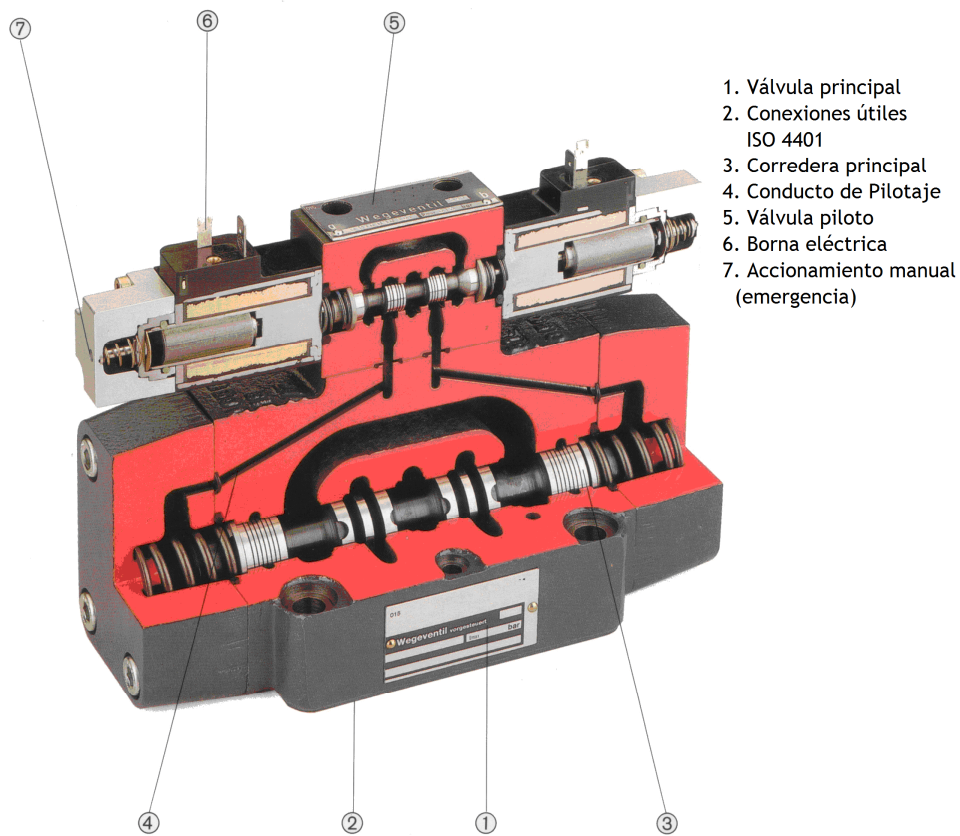


Figura 5.2.7.- Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada (empresa Bosch-Rexroth).

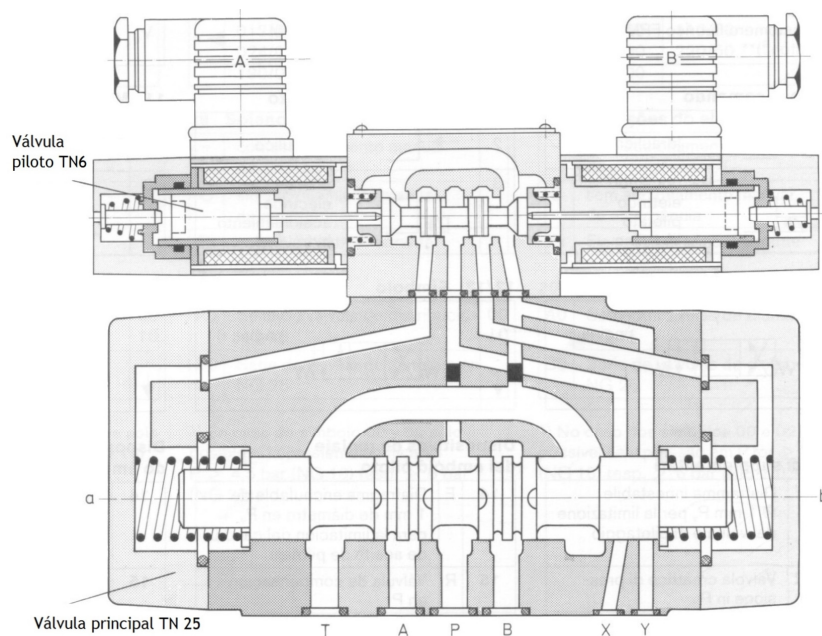


Figura 5.2.8.- Estructura de electroválvula 4/3 monoestable servopilotada P/A/B/T (empresa Bosch-Rexroth).



En la anterior figura, se ve la composición de la electroválvula hidráulica 4/3 servopilotada. Indicar que la alimentación y/o descarga de la señal hidráulica de pilotaje se puede realizar de forma interna o externa mediante la ubicación de dos tapones (en las figuras 5.2.7 y 5.2.8 están colocados para que el distribuidor piloto sea alimentado y descargado externamente).

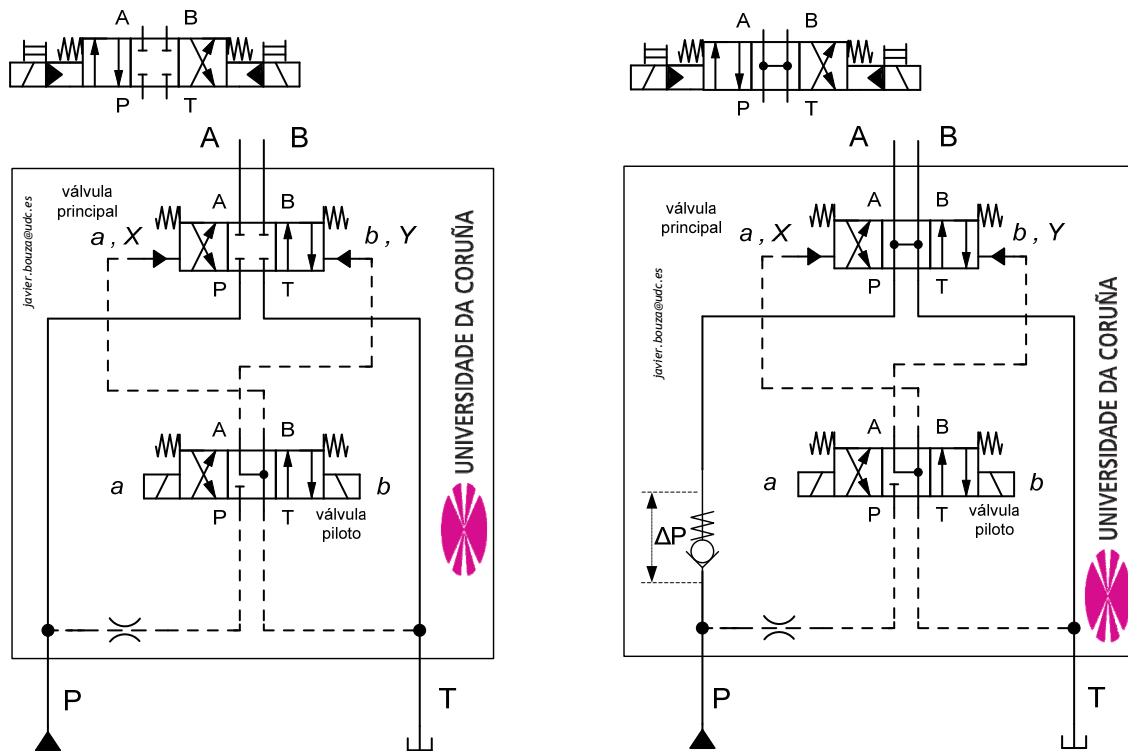


Figura 5.2.9.- Estructura de electroválvulas hidráulicas 4/3 de accionamientos servopilotados.

En los esquemas anteriores, se muestra la configuración con alimentación interna para una electroválvula 4/3 con posición central cerrada y una 4/3 con posición central abierta. Indicar que:

- i. Con la posición central cerrada la magnitud de la señal de pilotaje viene limitada por el taraje de la limitadora. Con presiones de pilotaje altas (>250 Bar) puede provocar conexiones bruscas y puntas de presión en la señal de pilotaje. Por ello se recomienda colocar, en estos casos, un diafragma en la entrada de la válvula piloto.
- ii. Si el distribuidor de potencia en su posición central circula sin presión (posición central abierta y cortocircuitada) o tiene sobreposición

negativa: la presión de mando necesaria no tiene magnitud suficiente o deja de actuar la presión durante el proceso de conmutación. Y con objeto de que pueda producirse la presión mínima de pilotaje, se introduce en la conexión P de la válvula principal un elemento antirretorno cuya pretensión (aprox. 4,5 Bar) se suma a la caída de presión ya existente en la válvula y en el circuito.

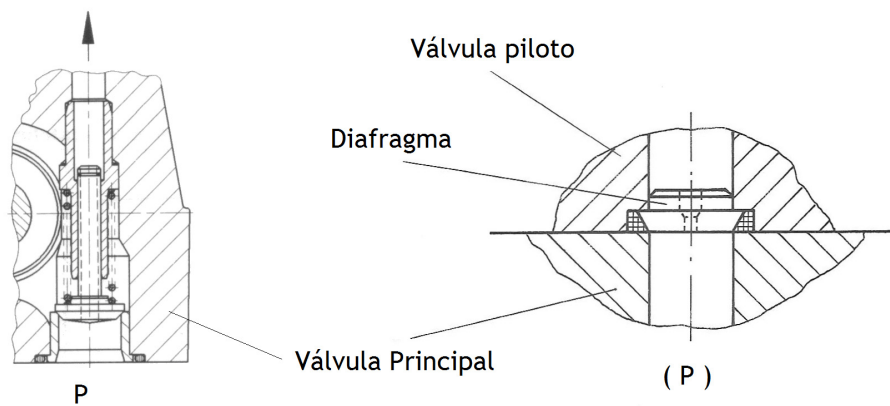


Figura 5.2.10.- Elemento antirretorno y diafragma para Electroválvula 4/3 servopilotada hidráulicamente (empresa Bosch-Rexroth).

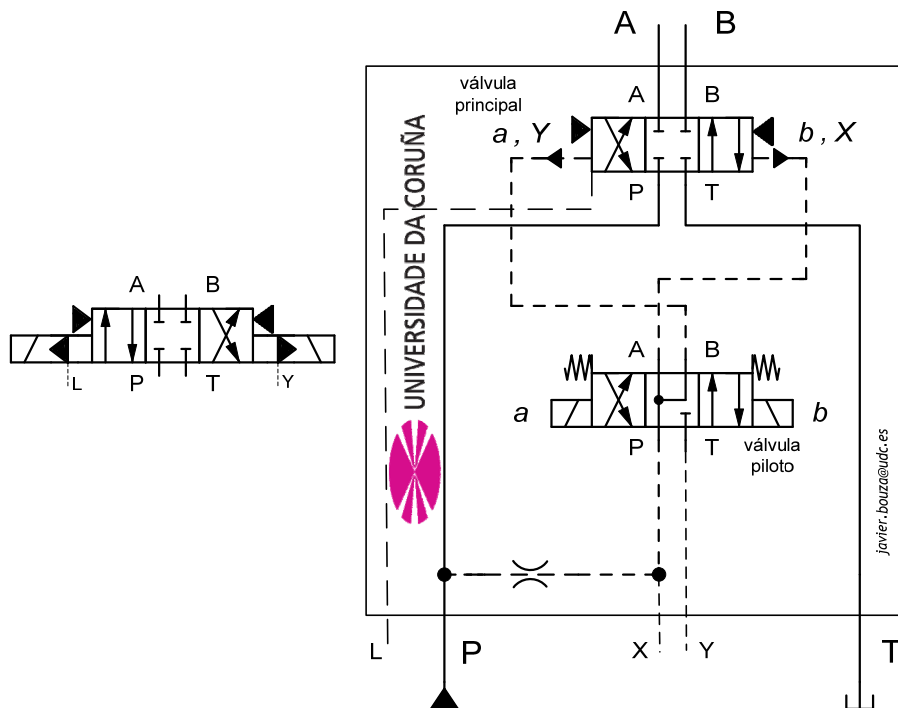


Figura 5.2.11.- Diagrama de electroválvula hidráulicas 4/3 monoestable servopilotada por depresión.

En la versión con centrado por presión (figura 5.2.11): en la posición central ambas cámaras de mando de la corredera principal están unidas a la presión de pilotaje. Por tanto, la corredera principal es mantenida en la posición central por medio de la actuación simultánea de la presión de pilotaje por ambos lados (a mayores se complementa con un buje y un perno de centrado para tal misión). Cuando se acciona una bobina, la válvula piloto mantiene presión en una cámara de mando y en la opuesta se descarga (accionamiento por “depresión”), lo que sitúa una de las posiciones extremas del distribuidor. Este centrado por presión permite montar este tipo de válvulas en posición no horizontal y descartar el efecto del peso de la corredera principal (algo que no ocurre con el centrado por muelles). Por último indicar, que en esta versión, la descarga del fluido de pilotaje debe ser externa para garantizar el correcto accionamiento del distribuidor.

En resumen, las ventajas que las válvulas servopilotados ofrecen en relación con el consumo eléctrico, el tamaño de las bobinas y la irradiación de calor han tenido como consecuencia:

- i.* que en los Sistemas Electroneumáticos actuales, casi únicamente, se utilice este tipo de accionamiento.
- ii.* que el campo de la Electrohidráulica: el accionamiento electromagnético directo sólo persiste en los tamaños nominales no superiores a TN10 y por encima de este valor, el accionamiento servopilotado es el que habitualmente se emplea. También, es importante, valorar la posibilidad de alimentación externa de las electroválvulas servopilotadas: de esta forma, se puede conseguir una conmutación más precisa y suave ya que la válvula piloto se adapta mejor a las exigencias, en cuanto a presión y caudal, que en el caso de alimentación interna.

## 5.3 Caracterización dinámica

### 5.3.1 La característica de conmutación.

Las características de conmutación de una válvula direccional o distribuidor de potencia están determinadas:

- i. Por los cantos de control o perfiles de los émbolos de la corredera principal o de los elementos de cierre.
- ii. por la sobreposición, es decir, por el solapamiento de los émbolos de la corredera principal con las ranuras interiores de las conexiones en las válvulas direccionales o por el ajuste del tiempo de respuesta en las válvulas de asiento.
- iii. y por el tiempo de conmutación, que se define según ISO 6403<sup>30</sup>, como el tiempo necesario desde que comienza a actuar la fuerza de accionamiento hasta el fin de la carrera del miembro de mando.

A continuación, se estudian estas tres características detenidamente ya que condiciona, de forma directa, la estabilidad y el comportamiento dinámico del Sistema electrohidráulico y electroneumático a diseñar.

En cuanto a la primera característica, “los cantos de control” del distribuidor, vienen definidos por el perfil de sus émbolos y a mayores, en las válvulas direccionales, por las ranuras anulares. El perfil de émbolo en las válvulas direccionales puede ser de ángulo recto, cónico o provisto de entalladuras progresivas (p. ej. muescas axiales). Estos dos últimos perfiles permiten que no se estrangule de forma abrupta sino paulatinamente el caudal volumétrico. También, su apertura origina una conexión suave. Todo esto evita y pormenoriza el efecto de los golpes de ariete y repercute, lógicamente, en la estabilidad y seguridad del sistema oleoneumático.

---

<sup>30</sup> ISO 6403:1988 Hydraulic fluid power -- Valves controlling flow and pressure -- Test methods

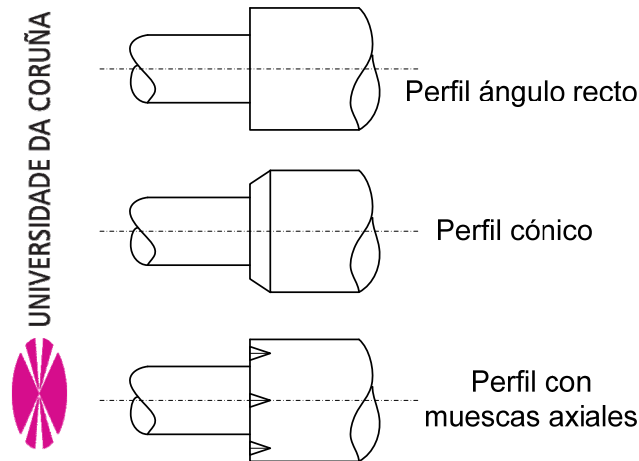


Figura 5.3.1.1.- Perfiles de los émbolos de las válvulas direccionales de corredera.

En las válvulas de asiento, los perfiles vienen dados por la forma del propio elemento de cierre. Este puede ser una bola, un cono, o con menor frecuencia, un disco. En los tres casos se hace un cierre hermético y no abrupto. La fabricación con bola es sencilla pero genera ruidos y vibraciones, mientras que la de disco tiene una carrera limitada y la de cono tiene buenas características de cierre pero su fabricación requiere de gran precisión y, consecuentemente, su coste es mayor.

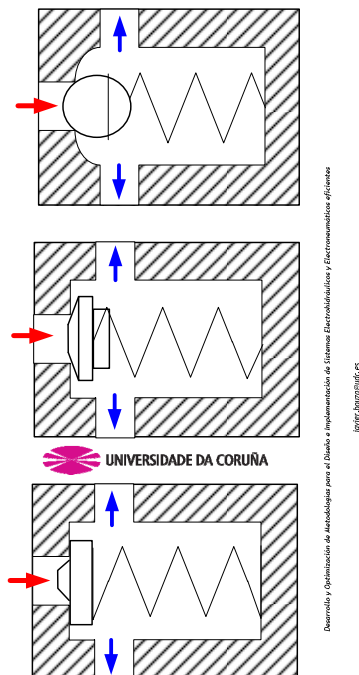


Figura 5.3.1.2.- Perfiles de las válvulas de direccionales de asiento.

Una peculiaridad de las válvulas de tipo asiento y que se aprecia en la figura 5.3.1.2, es que sólo permite la conmutación con un máximo de tres conexiones con un único elemento de cierre (de ahí que su uso se encuentre limitado a distribuidores de 3 conexiones).

Otro aspecto, característico de la hidráulica, son las ranuras radiales en los émbolos de los distribuidores de corredera. Estas ranuras tienen tres funciones:

- i. Disminuir la fricción interna de los émbolos de la corredera principal con la camisa del distribuidor: la presión empuja al émbolo contra la camisa y provoca fricciones considerables y, en consecuencia, aumenta de forma notable las fuerzas de accionamiento, además, de las aperturas regresivas. Por tanto, las ranuras permite disponer de una fina película de aceite entre émbolo y la camisa, lo que permite un deslizamiento suave y continuo.
- ii. Producen el equilibrado de la corredera principal en el interior de la camisa del distribuidor: en la ranuras se presenta la presión existente en el interior de la válvula, lo que provoca fuerzas radiales iguales sobre la corredera en todas las direcciones del espacio. Esto centra la corredera principal en el interior de la camisa del distribuidor y, repercute, en un deslizamiento más preciso y suave.
- iii. Y provocan el control de las fugas: al reducir el gradiente efectivo en el huelgo radial.

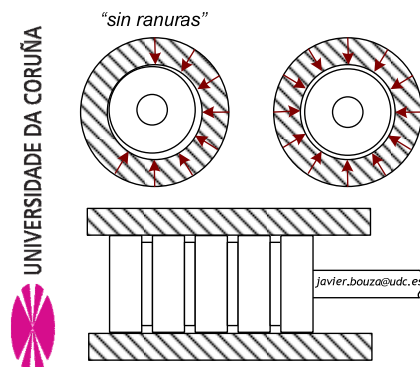


Figura 5.3.1.3.- Ranuras de los émbolos de las válvulas direccionales de corredera.

La segunda característica, que influye en la conmutación, es “la sobreposición” de la válvula direccional. En los distribuidores de corredera viene dada por el solapamiento que se produce entre los émbolos y las ranuras internas de las conexiones. Y se puede analizar tanto en la posición de “parada” como en la fase de “conmutación”. Así, en la posición de parada, puede ser: *positiva*, *negativa* o igual a *cero* (corte igual a cero)

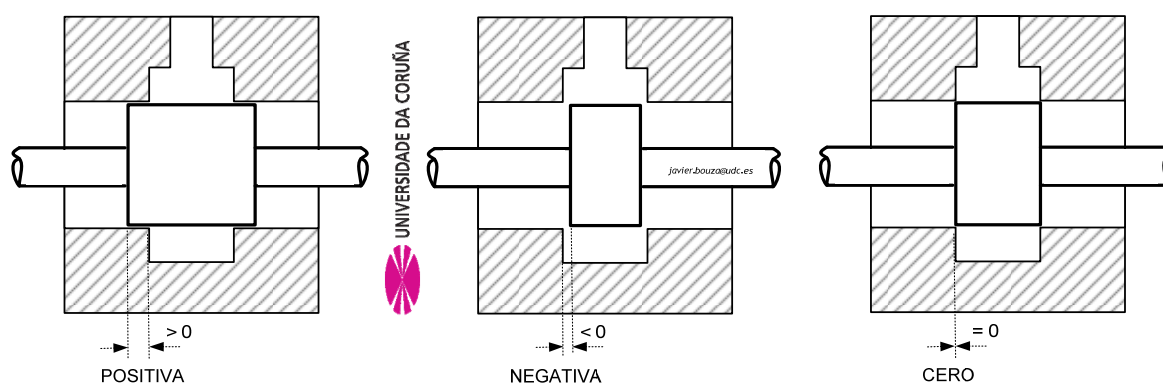


Figura 5.3.1.4.- Sobreposición en la posición de “parada” de las válvulas direccionales de corredera.

Esta sobreposición en “la parada” de las válvulas de corredera conjuntamente con la holgura determina las fugas y la estanqueidad de sus conexiones. Para el caso de las válvulas de asiento la sobreposición en “la parada” es siempre *positiva*.

La sobreposición en la “conmutación”, en los distribuidores de corredera, es un parámetro primordial en la dinámica del sistema y deberá seleccionarse según diseño del circuito y su aplicación. Así, se distinguen cinco casos en la sobreposición en la conmutación:

- i. *Sobreposición Positiva (en la conmutación):* Todas las conexiones útiles están bloqueadas, brevemente, durante el proceso de conmutación. Y por tanto, no se produce una caída de presión (algo imprescindible, por ejemplo, en circuitos con acumuladores) pero si se producen golpes de ariete. En consecuencia, se origina sobre el actuador “un arranque duro” pero, en contrapartida, los cortes son bruscos.

- 
- ii. *Sobreposición Negativa (en la conmutación)*: Todas las conexiones útiles están, transitoriamente, conectadas entre sí durante el proceso de conmutación; lo que provoca una caída de presión breve y pormenoriza los golpes de arietes en caso de caudales importantes. En consecuencia, se origina un “arranque suave” del actuador. Pero que, en situaciones de plena carga, supone una mayor lentitud en su respuesta de actuación.
  
  - iii. *Apertura previa hacia la tubería de presión*: La fuente de energía (bomba o compresor) es conectada primero con el elemento de trabajo y, a continuación, se conecta el elemento de trabajo con la tubería de descarga que lleva al depósito (hidráulica) o la atmosfera (neumática). En este caso, se produce un “arranque duro” del actuador.
  
  - iv. *Apertura previa de la tubería de descarga*: El elemento de trabajo se conecta primero con el depósito (hidráulica) o atmósfera (neumática) y, a continuación, se conecta la tubería de alimentación con la fuente de energía (bomba o compresor). En este tipo de sobreposición origina un “arranque suave” del actuador.
  
  - v. *Sobreposición cero*: Posición “canto sobre canto” del embolo sobre las ranuras internas de las conexiones útiles. Permite tramos de conmutación rápidos y, por tanto, una respuesta rápida. El coste de construcción de este tipo distribuidor es mayor que los restantes debido a su necesidad de precisión.



A continuación, se muestran los efectos que tienen las sobreposiciones positivas y negativas sobre un circuito oleohidráulico con un cilindro de simple efecto accionado por una válvula direccional 3/2 de corredera.

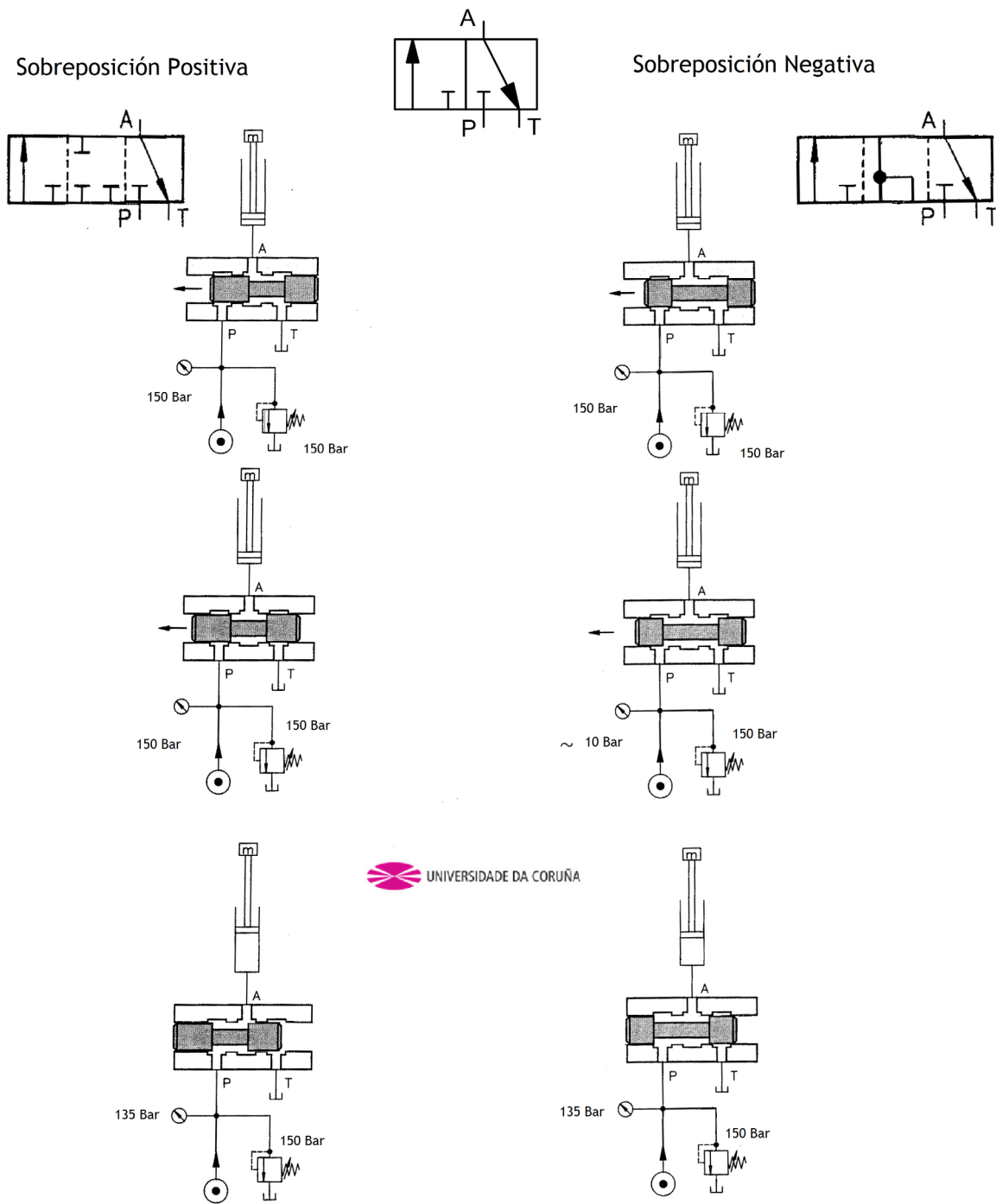


Figura 5.3.1.5.- Ejemplo de sobreposición en la “conmutación” con válvula direccional de corredera 3/2 en circuito oleohidráulico con cilindro de simple efecto.

Como se aprecia con la sobreposición positiva, se produce un “arranque duro” al pasar directamente del taraje de la válvula limitadora a la presión de servicio (presión máxima en régimen permanente). Mientras que en la sobreposición negativa: existe una transición con una caída a baja presión, al estar todas las conexiones interconectadas entre sí y conectadas a tanque, lo que produce un “arranque suave” y una mayor lentitud en el tiempo de respuesta del actuador.

En la siguiente figura, se muestra la Electroválvula 4/3 monoestable servopilotada P/A/B/T con dos tipos de sobreposición diferente en la conmutación.

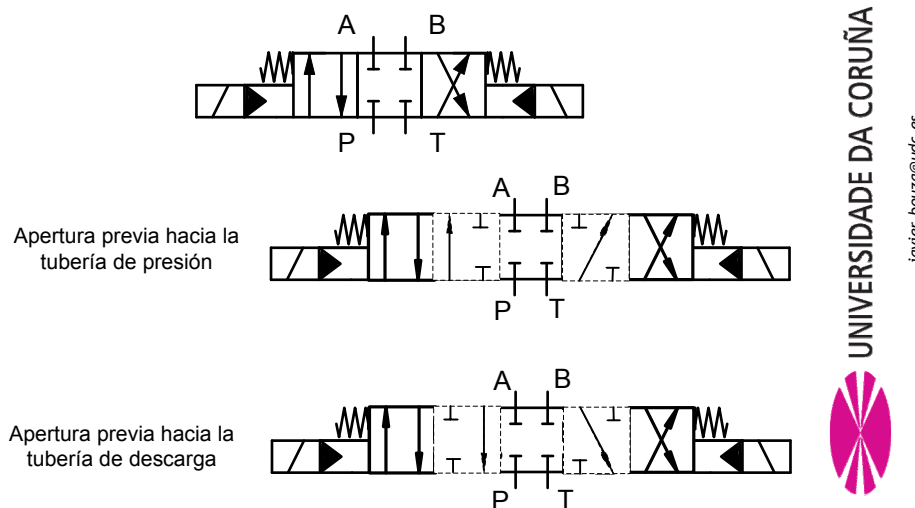


Figura 5.3.1.6.- Sobreposiciones en la “conmutación” del válvula direccional 4/3 monoestable servopilotada.

Normalmente, Los fabricantes muestran en sus catálogos la sobreposición en la conmutación con la representación de las posiciones de transición (representadas en cuadrados con línea a trazos como se ve en la figura).

En los distribuidores de potencia, tipo asiento, la sobreposición en la conmutación se ajusta en función de los tiempos de respuesta de cada una de las válvulas. En concreto, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos diseñados en esta Tesis, los tiempos de respuesta se taran con bloques lógicos

temporizadores en el programa de control. Estos permiten ajustar retardos entre las señales de mando de las diferentes electroválvulas de asiento.

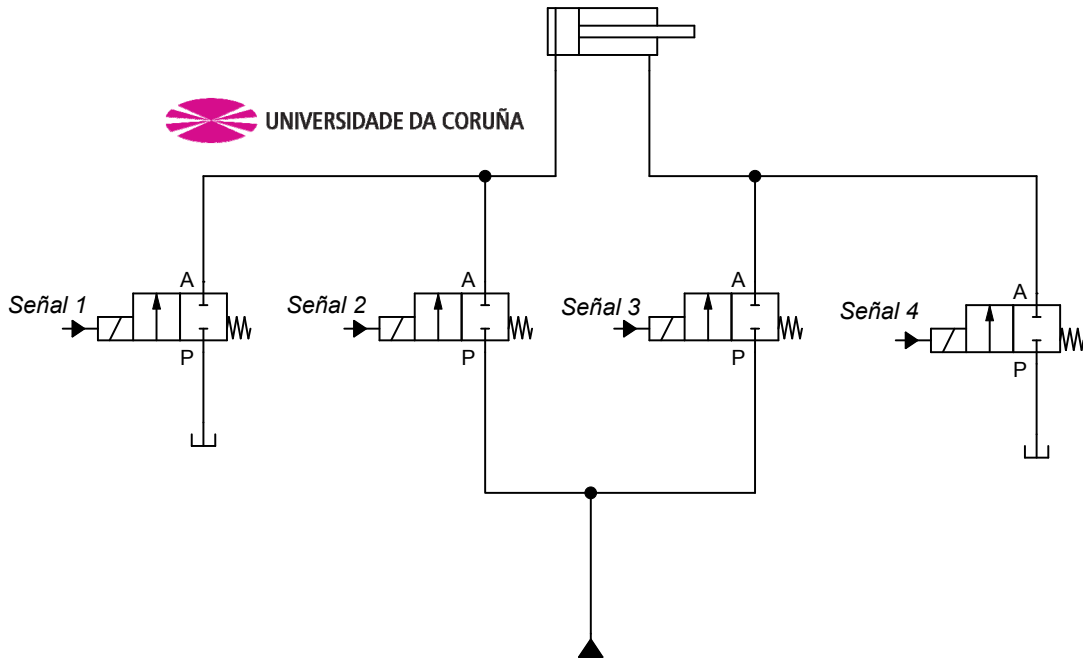


Figura 5.3.1.7.- Ejemplo de sobreposición en la “conmutación” con válvulas direccionales de asiento en circuito oleohidráulico con cilindro de doble efecto.

Tabla 5.3.1.1.- Sobreposiciones habituales en la “conmutación” de la figura 5.3.1.7.

|                           | Tipo de sobreposición                        | Ajuste                        |
|---------------------------|--|-------------------------------|
| <b>Avance Actuador</b>    | Apertura previa hacia la tubería de presión  | Señal 2 antes de Señal 4      |
|                           | Apertura previa hacia la tubería de descarga | Señal 4 antes de Señal 2      |
|                           | Sobreposición nula                           | Señal 2 y Señal 4 simultáneas |
| <b>Retroceso Actuador</b> | Apertura previa hacia la tubería de presión  | Señal 3 antes de Señal 1      |
|                           | Apertura previa hacia la tubería de descarga | Señal 1 antes de Señal 3      |
|                           | Sobreposición nula                           | Señal 1 y Señal 3 simultáneas |

La tercera característica que influye en el comportamiento dinámico de control es el “Tiempo de conmutación”.

En las válvulas direccionales accionadas eléctricamente, el tiempo de conmutación se puede componer de cuatro fases distintas:

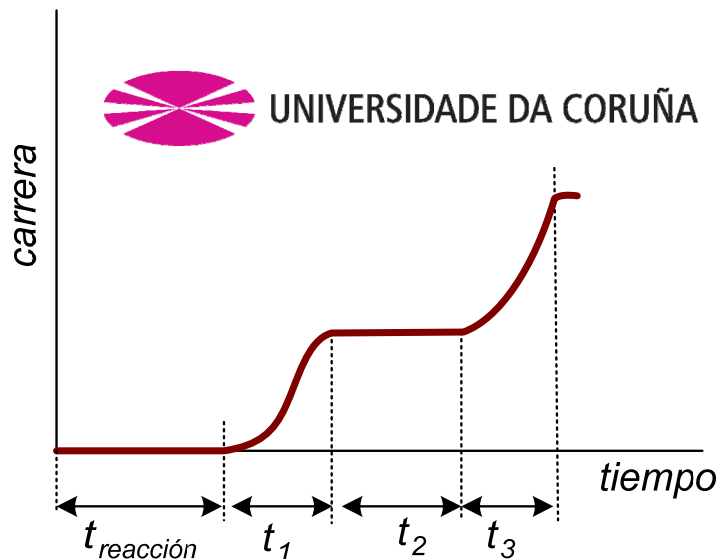


Figura 5.3.1.8.- Diagrama carrera-tiempo de accionamiento electromagnético (fases tiempo conmutación).

$t_{reacción}$  = Tiempo de reacción que transcurre hasta que la armadura del solenoide se ponga en movimiento una vez conectada la tensión de excitación. Durante este tiempo se produce la fuerza magnética necesaria para superar la pretensión del resorte y las fuerzas de adherencia.

$t_1$  = Tiempo hasta que se vuelve efectiva la fuerza de flujo en el canto principal de mando (sector de arranque).

$t_2$  = Tiempo hasta que se produce la fuerza magnética necesaria para superar el máximo de fuerza de flujo. Depende del valor de la fuerza de flujo e influye decisivamente la magnitud del tiempo de conmutación (rango de fuerza de flujo).

$t_3$  : Tiempo para transconexión del pistón de mando hasta el fin de carrera de la válvula (rango de transconexión)

Actualmente, existen cuatro tipologías de construcción del accionamiento eléctrico:

1. Electroimán de corriente continua (DC) de conmutación en aire. También, denominado electroimán “en seco”.
2. Electroimán de corriente continua (DC) de conmutación en fluido. También, se conoce como electroimán “húmedo” o “a prueba de presión”. En este tipo de mando, el inducido o armadura esta inmerso en una cámara de fluido conectada a la conexión a tanque (hidráulica) o a la conexión a escape (neumática).
3. Electroimán de corriente alterna (AC) de conmutación en aire o “en seco”.
4. Electroimán de corriente alterna (AC) de conmutación en “fluido” o “húmedo” o “a prueba de presión”.

Preferentemente, se está utilizando electroimanes de conmutación en “fluido” para el accionamiento de las electroválvulas. La razón, se encuentra en su construcción, ya que su inducido sufre menor desgaste, una llegada amortiguada al tope y una mejor disipación de calor que las otras tipologías. En hidráulica, y especialmente en instalaciones a la intemperie o ambientes marinos, esta versión es la recomendada, ya que el fluido protege contra la corrosión de las piezas.

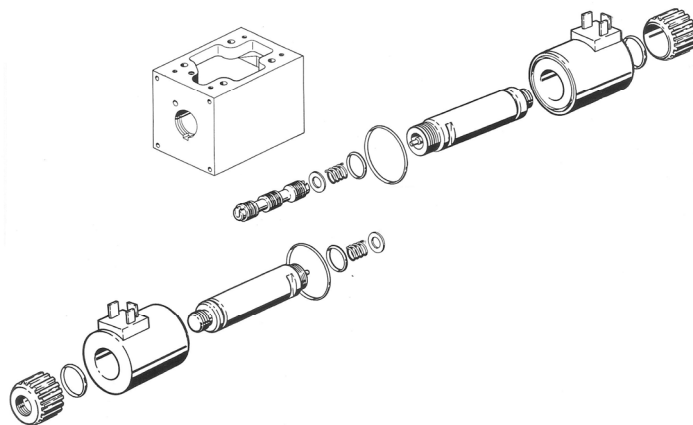


Figura 5.3.1.9.- Electroimán de conmutación en “fluido” en distribuidores hidráulicos (empresa Bosch-Rexroth).

Tabla 5.3.1.2.- Tiempo de conmutación y reposición de electroválvulas hidráulicas de hasta TN10.

|                      | <i>Proceso</i>                          | <i>Bobina DC</i> | <i>Bobina AC</i> |
|----------------------|---|------------------|------------------|
| <i>Directo</i>       | Conmutación                             | 20 a 60 ms       | 10 a 35 ms       |
|                      | Reposición                              | 15 a 65 ms       |                  |
| <i>Servopilotado</i> | Conmutación con presión pilotaje 50 Bar | 40 a 60 ms       | 30 a 40 ms       |
|                      | Reposición con presión pilotaje 50 Bar  | 35 a 55 ms       |                  |
|                      | Conmutación presión pilotaje 200 Bar    | 35 a 55 ms       | 25 a 35 ms       |
|                      | Reposición con presión pilotaje 200 Bar | 30 a 45 ms       |                  |

Del estudio de la información de catálogo de uno de los fabricantes más relevante en oleohidráulica<sup>31</sup> se ha definido la tabla anterior para un tamaño máximo de distribuidor TN10. Como se aprecia el uso de electroimanes de corriente alterna (AC), en las electroválvulas, permite reducir las tres primeras fases del tiempo de conmutación con respecto a electroimanes de corriente continua. En contrapartida: su seguridad y durabilidad es menor, su conmutación es menos suave y su consumo eléctrico es mayor (en torno a un 50%). Pero, es muy importante reincidir en el aspecto de seguridad para el diseño. Así, con el uso de electroimanes de corriente alterna, si el inducido no realiza su recorrido hasta el final se acabará fundiendo por sobrecalentamiento (aproximadamente después de 1,5 horas). Este hecho, puede ocurrir, por ejemplo: por un atascamiento en el distribuidor o por un diseño de control erróneo: “como es el caso de que los dos accionamientos, por bobinas, de una misma electroválvula monoestable estuviesen activados de forma simultánea y permanente”.

El tiempo de reposición a la posición de reposo de las electroválvulas depende:

<sup>31</sup> Fabricante Bosch Rexroth.: Tamaños TN6 y TN10 comparativa entre bobina AC 230V/50Hz y bobina DC 24 V/50Hz.

- i. En las válvulas de accionamiento directo: fundamentalmente del muelle.
- ii. En las válvulas servopilotadas: del muelle y de la magnitud de la presión de pilotaje.

En las electroválvulas servopilotadas las tres primeras fases del tiempo de conmutación suele ser menor que sus equivalentes de accionamiento directo (el mismo tamaño nominal). El motivo se encuentra en el menor tamaño de sus solenoides de accionamiento. Pero en contrapartida, en el servopilotaje, el tiempo de transconexión es mayor debido al recorrido que la señal de fluido debe hacer por el conducto interno de pilotaje. En el caso de aire es poco significativo, pero en la hidráulica y con válvulas tamaño mediano o grande depende de la magnitud de la presión de pilotaje. A continuación, se muestra una tabla<sup>32</sup> con algunas referencias de los tamaños más empleados.

Tabla 5.3.1.3.- Tiempo de conmutación y reposición de electroválvulas hidráulicas servopilotadas.

| Tamaño Nominal<br>Caudal nominal ( $\Delta p = 1$ Bar)<br>Caudal máximo<br>Volúmenes de pilotaje |               |          | TN10<br>20 a 50 l/min<br>>160 l/min<br>1 cm <sup>3</sup> | TN16<br>70 a 160 l/min<br>>300 l/min<br>6/10 cm <sup>3</sup> | TN25<br>160 a 220 l/min<br>>700 l/min<br>15/22 cm <sup>3</sup> |
|--|---------------|----------|--|--|--|
|  | Accionamiento | Pilotaje | Tiempos  |  |  |
| Bobinas DC   | Conmutación   | 50 Bar   | 40 a 60 ms   | 55 a 75 ms   | 55 a 75 ms   |
|  | Reposición    |          | 35 a 55 ms   | 50 a 70 ms   | 90 a 115 ms  |
|  | Conmutación   | 200 Bar  | 35 a 55 ms   | 50 a 70 ms   | 35 a 50 ms   |
|  | Reposición    |          | 30 a 45 ms   | 40 a 60 ms   | 50 a 115 ms  |
| Bobinas AC   | Conmutación   | 50 Bar   | 30 a 40 ms   | 30 a 50 ms   | 50 a 70 ms   |
|  | Reposición    |          | 35 a 55 ms   | 50 a 70 ms   | 75 a 105 ms  |
|  | Conmutación   | 200 Bar  | 25 a 35 ms   | 25 a 40 ms   | 30 a 45 ms   |
|  | Reposición    |          | 30 a 45 ms   | 40 a 60 ms   | 40 a 105 ms  |

<sup>32</sup> Fabricante Bosch Rexroth: Tamaños TN10, TN16 y TN25 comparativa entre bobina AC 230V/50Hz y bobina DC 24 V/50Hz.

Además de la naturaleza del accionamiento eléctrico, otro aspecto fundamental, es el ajuste del tiempo de conmutación. Existen dos maneras de realizarlos:

1. mediante elementos auxiliares y opcionales que disponen el distribuidor.
2. Y sobre el programa de control mediante bloques de temporización lógica.

Dentro de los elementos auxiliares y opcionales, en las electroválvulas hidráulicas, se emplean dos:

1. Tornillo regulador: utilizado en electroválvulas hidráulicas de accionamiento directo.
2. Placa de temporización: empleada en las electroválvulas hidráulicas servopilotadas.

El Tornillo regulador es un elemento opcional que permite ajustar el tiempo de conmutación mediante una estrangulación en el canal colector que une las cámaras opuestas de la corredera del distribuidor. Esta opción, sólo, es posible emplearla cuando los accionamientos electromagnéticos son electroimanes de corriente continua y se debe tener, siempre, cuidado de que exista volumen de fluido hidráulico en dicho canal (situación que puede acontecer con la caída del grupo hidráulico).

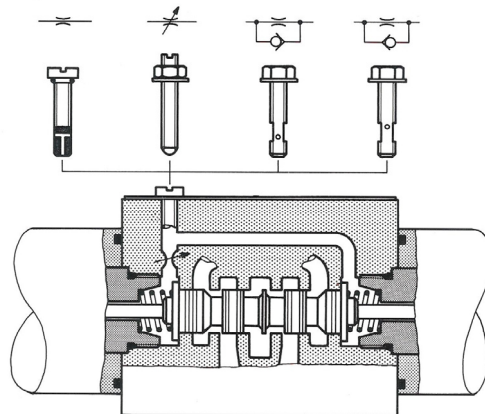


Figura 5.3.1.10. - Tornillo regulador en electroválvulas hidráulicas (empresa Bosch-Rexroth).



La placa de temporización es un elemento auxiliar para las electroválvulas servopilotadas hidráulicamente que permite ajustar el tiempo de conmutación. Está compuesto por un bloque de dos válvulas estranguladoras antirretorno que provocan que el fluido de pilotaje que llega o retorna a la válvula principal (según su posición de montaje) se estrangule. Así, por ejemplo, si se emplea la limitación de retorno: se estrangula el caudal de fluido hidráulico de mando que sale y, en cambio, él que entra no se estrangula debido a que el antirretorno está abierto. De esta forma, se influye sobre el tiempo de conmutación de la corredera principal del distribuidor de potencia servopilotado. Otra opción, para casos sencillos, es emplear una tobera en el canal de mando.

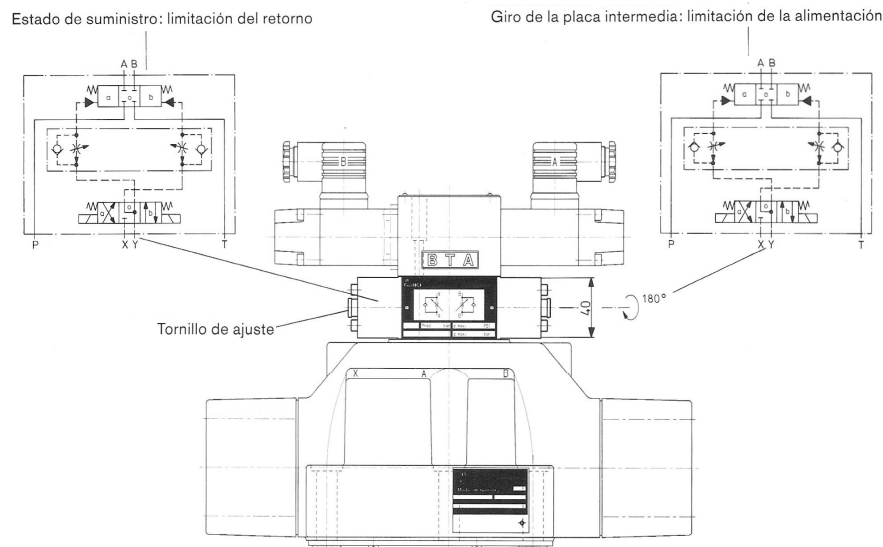


Figura 5.3.1.11. - Placa de temporización en electroválvulas hidráulicas servopilotadas (empresa Bosch-Rexroth).

Por último, el reglaje mediante inserción de bloques lógicos temporizados en el programa de control. Esta modalidad, se puede emplear sola o en conjunción con la opciones anteriores. Y permite tarar el tiempo de conmutación, con gran precisión, en las electroválvulas mediante cambios mínimos en el programa de control. Esta es la opción, frecuentemente, empleada en los distribuidores de tipo asiento. En los distribuidores de corredera con accionamientos eléctricos convencionales y de tamaño nominal mayor TN10 esta opción debe ser acompañada con los elementos auxiliares anteriores para conseguir el comportamiento adecuado y seguro.

## 5.3.2 Característica de control

### 5.3.2.1 Introducción

En este apartado, se analiza el comportamiento de los distribuidores de potencia del sistema electrohidráulico y electroneumático ante las órdenes emitidas por el subsistema de mando. El objetivo que se pretende es predecir el estado y la reacción del distribuidor ante las diferentes situaciones posibles de control. Con especial atención a las situaciones anómalas como el problema de “señales permanentes” (simultaneidad de las ordenes opuestas de mando). Todo esto permitirá, en los capítulos posteriores, abordar de manera correcta el desarrollo de los métodos de diseño para la solución óptima de control combinacional o secuencial del sistema electrohidráulico o electroneumático.

Para llevar a cabo este estudio, se modeliza el comportamiento del distribuidor de potencia ante las señales emitidas por el subsistema de mando como un elemento de memoria lógica biestable RS. Se construyen en el Laboratorio<sup>33</sup> varios modelos biestable RS desde una extensión en lo que se refiere a energía y a las características de los elementos hidráulicos y neumáticos. Y se ensayan los distintos prototipos en busca del modelo más fidedigno para sacar conclusiones.

### 5.3.2.2 Comportamiento biestable

El biestable RS es una memoria de información binaria construida con elementos lógicos NAND para lógica positiva que autorretiene sus salidas (una vez que están activados) a través de circuitos de realimentación, de ahí su capacidad de memoria. Además es un circuito asíncrono, por tanto, no necesita una señal de sincronismo o reloj y bastará la actuación directa sobre sus entradas para cambiar el estado del mismo.

En la siguiente figura se muestra la tabla de verdad y el diagrama lógico y el símbolo del biestable. Las entradas y salidas de este biestable RS se designan

---

<sup>33</sup> Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol.

empleando letras mayúsculas y las señales aplicadas a éstas se designan empleando la misma letra, pero en minúsculas.

Tabla 5.3.2.2.- Tabla de verdad y diagrama lógico del biestable R-S.

| <b>S</b> | <b>R</b> | $q_n$ | $\bar{q}_n$ | $q_{n+1}$ | $\bar{q}_{n+1}$ | <b>Diagrama lógico</b> | <b>Símbolo</b> |
|----------|----------|-------|-------------|-----------|-----------------|------------------------|----------------|
| 0        | 0        | 0     | 1           | 0         | 1               |                        |                |
| 0        | 0        | 1     | 0           | 1         | 0               |                        |                |
| 0        | 1        | 0     | 1           | 0         | 1               |                        |                |
| 0        | 1        | 1     | 0           | 0         | 1               |                        |                |
| 1        | 0        | 0     | 1           | 1         | 0               |                        |                |
| 1        | 0        | 1     | 0           | 1         | 0               |                        |                |
| 1        | 1        | 0     | 1           | ?         | ?               |                        |                |
| 1        | 1        | 1     | 0           | ?         | ?               |                        |                |

Como en todos los circuitos de memoria, la señal de salida  $Q$  y  $\bar{Q}$  no sólo es determinada por las señales de entrada  $S$  (set) y  $R$  (reset) sino, también, por el correspondiente estado de conexión o estado inicial de la memoria. Por ello, la tabla de valores se amplía, debido a que los valores de entrada  $s$  y  $r$  deben combinarse, en la NAND, con los dos posibles estados de conexión del biestable R-S: “activación” (  $q_n = 1$  ó  $\bar{q}_n = 0$  ) o “desactivación o borrado” (  $q_n = 0$  ó  $\bar{q}_n = 1$  ). Y de esta forma, se completa la tabla con los valores de salida para  $q_{n+1}$  y  $\bar{q}_{n+1}$ .

El biestable se activa, desactiva o permanece en su estado original en función de los valores  $s$ ,  $r$  y  $q_n$ . La principal condición es que la memoria R-S pueda pasar a un estado de conexión estable con las combinaciones de  $s$ ,  $r$  y  $q_n$ . No hay que olvidar, que si no se activa ninguna de las entradas, el biestable permanece indefinidamente en el estado que poseía tras la última operación. Se necesita, únicamente, un pulso de señal en las entradas para cambiar su estado. Solamente, cuando las señales de activación y desactivación son simultáneamente 1 (están activas las entradas  $S$  y  $R$ ) e independientemente del estado de  $q_n$ , existe un estado de incertidumbre que se simboliza con el signo de interrogación.

**5.3.2.3 Modelo oleoneumático del distribuidor.**

La memoria lógica “biestable RS” se ha construido con elementos fluidicos en el Laboratorio<sup>34</sup>. Se han realizados dos modelos con tecnología neumática y uno con tecnología oleohidráulica. A continuación, se muestran los circuitos neumáticos para implementar los dos modelos neumáticos:

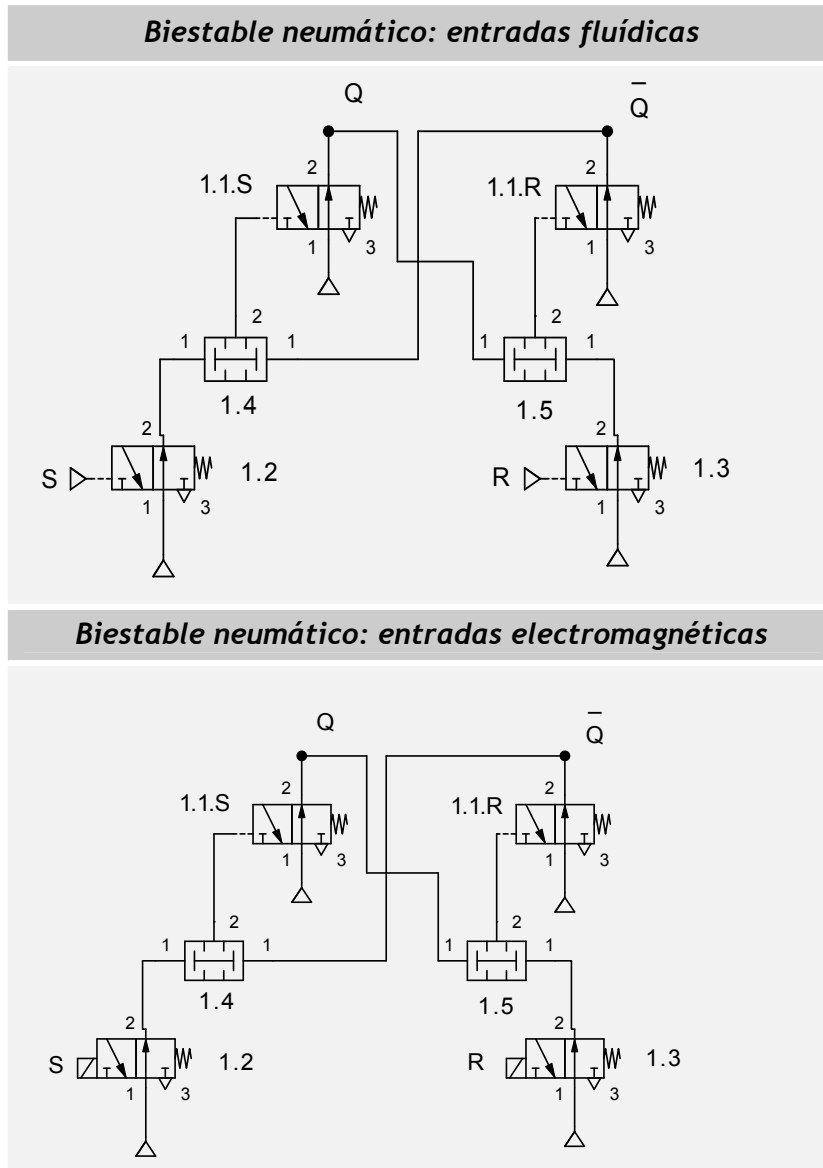


Figura 5.3.2.3.1. Circuito biestable neumático: entradas fluidica y electromagnéticas.

<sup>34</sup> Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol.

En cuanto a estos dos modelos neumáticos: uno tiene las entradas accionadas mediante señales de aire y el otro electromagnéticamente. Son construidos con sendos circuitos con válvulas direccionales 3/2 accionadas neumáticamente (primer caso) o electromagnéticamente (segundo caso) y válvulas de simultaneidad (elementos AND). También, se conectan en ambos circuitos unas válvulas 3/2 accionadas neumáticamente. Estas siguen a las válvulas de simultaneidad en calidad de inversores de señal.

En la siguiente figura, se muestran, el esquema del modelo hidráulico:

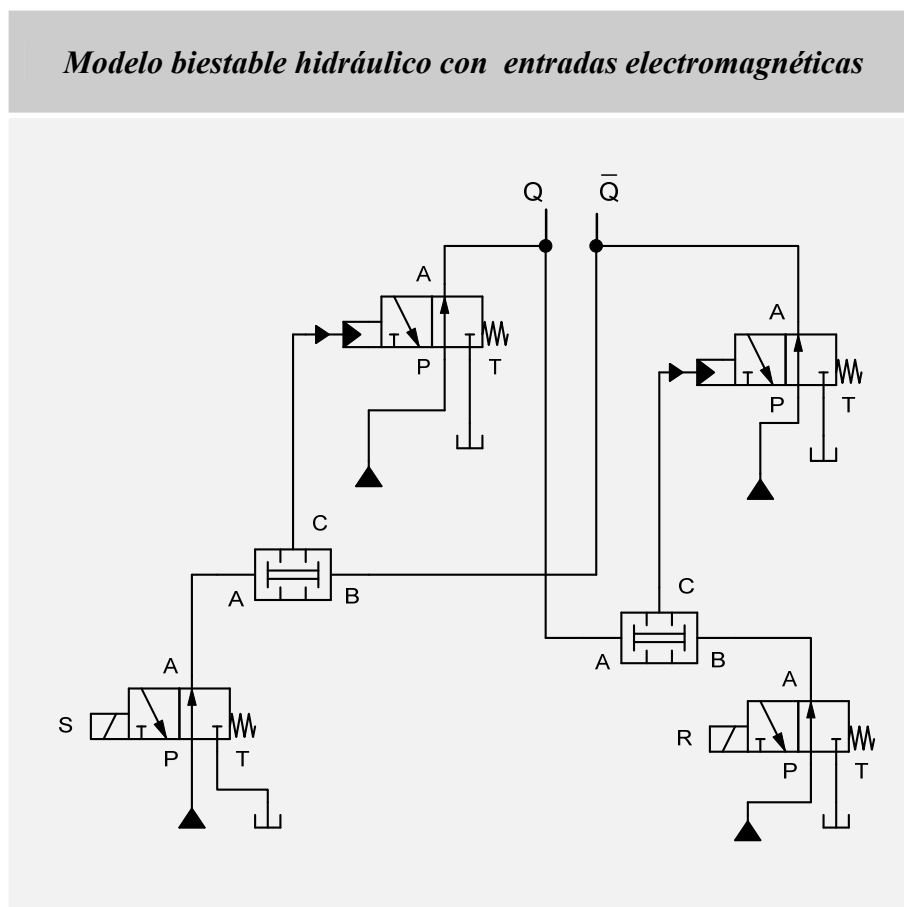


Figura 5.3.2.3.2.- Modelo biestable hidráulico con entradas electromagnéticas.

En cuanto a este modelo hidráulico, se ha realizado únicamente con las entradas gobernadas electromagnéticamente. Es construido con un circuito con válvulas direccionales 3/2 accionadas electromagnéticamente y válvulas de simultaneidad. También, se conectan válvulas 3/2 accionadas hidráulicamente que siguen a las válvulas de simultaneidad en calidad de inversores de señal.

Estos modelos permiten ensayar el comportamiento de los distribuidores de potencia neumáticos e hidráulicos con accionamientos fluidicos, eléctricos o electro-pilotados fluidicamente ante las órdenes recibidas por el subsistema de mando. Con objeto de introducir la influencia de las fuerzas internas y de adherencia en los distribuidores de corredera se añade a los tres modelos un cilindro de doble vástago. Esto permite ver reflejado la situación de la corredera en la posición del cilindro con respecto a sus estados de salida  $Q$  y  $\bar{Q}$ .

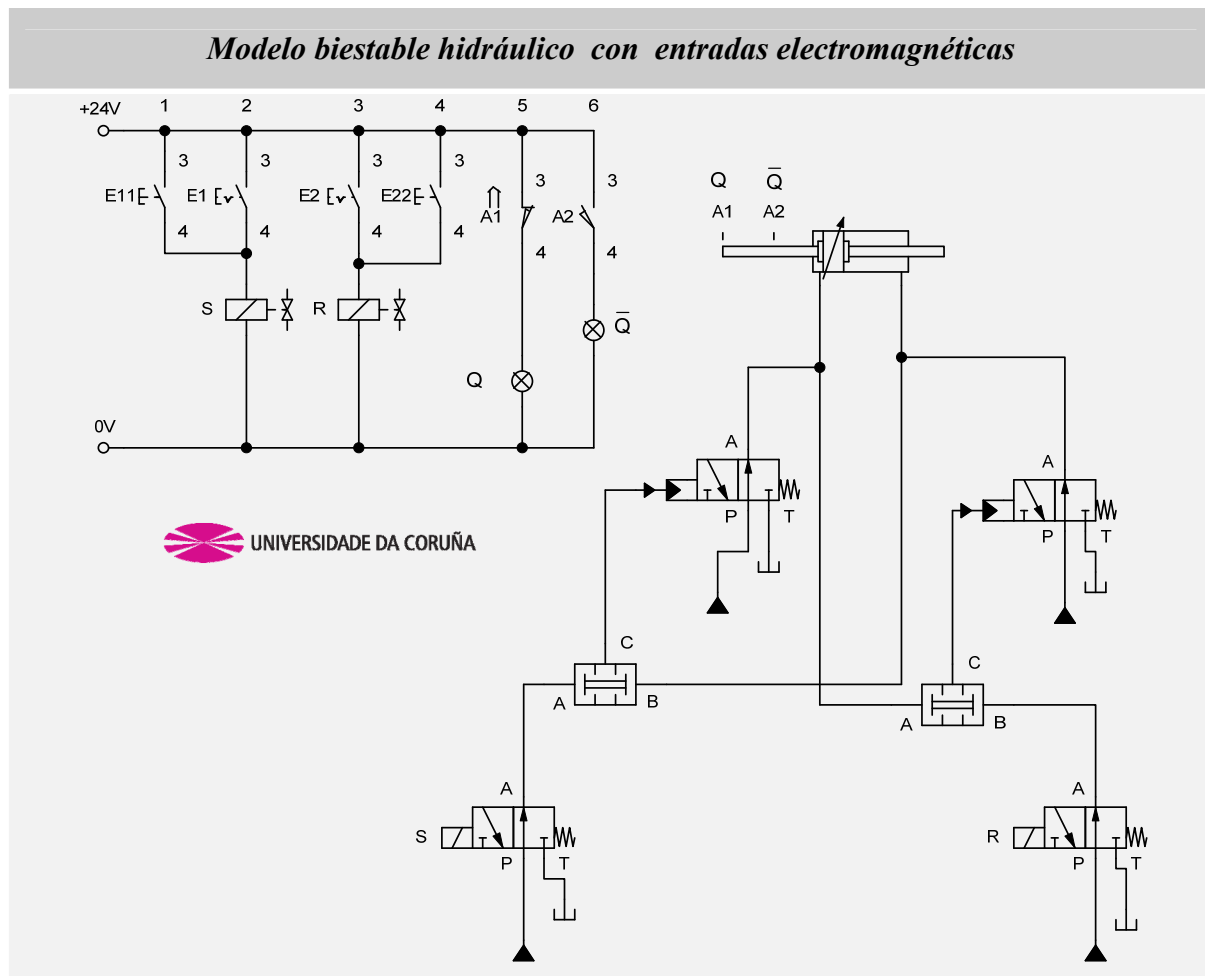


Figura 5.3.2.3.3.- Entrenador del modelo biestable hidráulico.

El entrenador realizado dispone de dos accionamientos, uno para simular pulsos de señal y otro para señales mantenidas, para cada una de las dos entradas del biestable. La señal de entrada mantenida permitirá estudiar la problemática de señales permanentes. Indicar, además, que el abastecimiento

de energía es indefinido mientras el grupo hidráulico o el compresor este encendido.

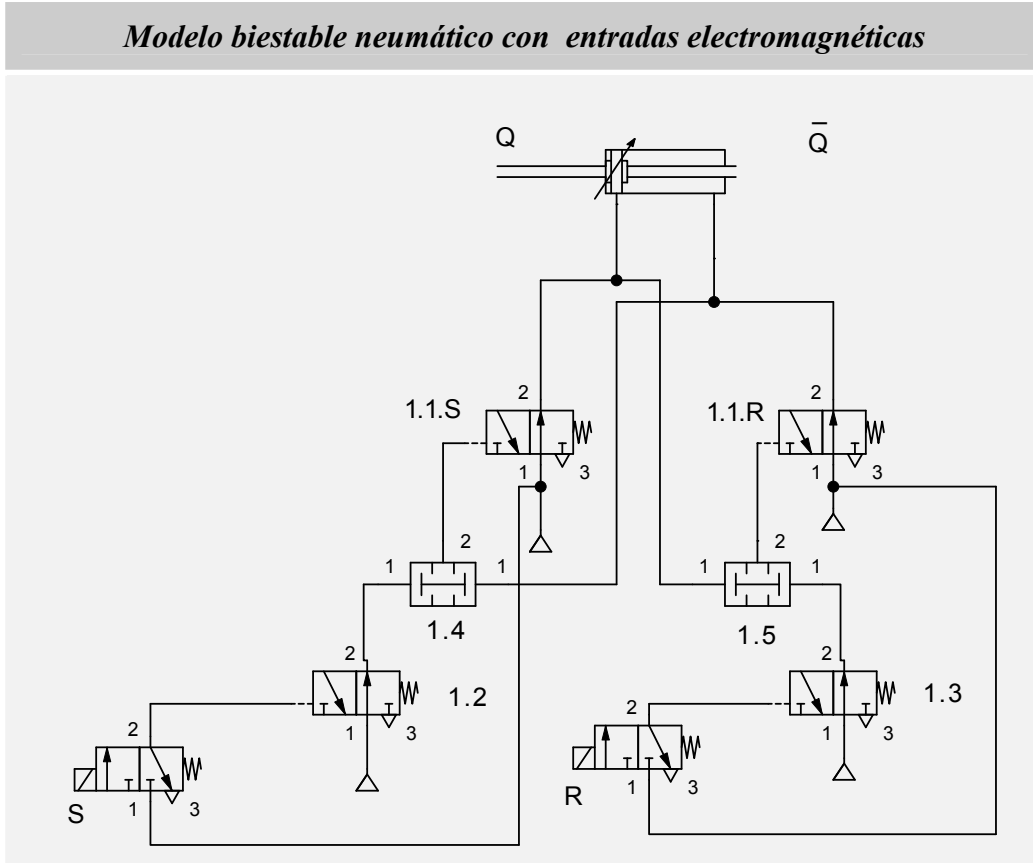


Figura 5.3.2.3.4.- Modelo biestable neumático con entradas electromagnéticas.

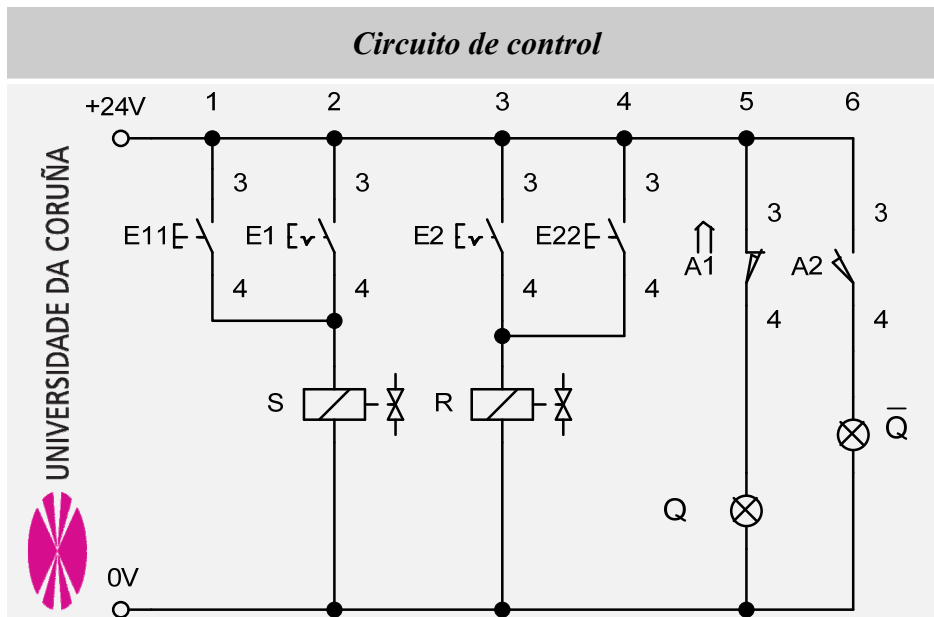


Figura 5.3.2.3.5.- Circuito eléctrico de control del Entrenador.

Del ensayo y análisis de estos circuitos, se obtiene que:

1. El modelo biestable neumático con entradas neumáticas asemeja el comportamiento real de las válvulas direccionales de dos posiciones (p. ej. 4/2 o 5/2) y con accionamientos fluídicos por ambos lados.
2. El modelo biestable neumático con entradas electromagnéticas responde al comportamiento real de las electroválvulas neumáticas biestables servopilotadas.
3. El modelo biestable hidráulico con entradas electromagnéticas responde al comportamiento real de las electroválvulas hidráulicas biestable servopilotadas.
4. Tanto el modelo biestable neumático como hidráulico permiten simular las condiciones de simultaneidad de señales, o problema de señales permanentes, de los distribuidores de potencia biestables y monoestables de tres posiciones servopilotados.
5. Se establece una diferencia fundamental de la tecnología fluídica de potencia con respecto a la tecnología electrónica en el concepto del biestable RS. Cuando existen dos señales simultáneas en las dos entradas, es decir, sobre sendos accionamientos del distribuidor, se resuelve la incertidumbre de esta forma: domina siempre la entrada que primero llega, en caso de señales de la misma magnitud, o la señal más fuerte independientemente del estado inicial de la memoria. El motivo se encuentra en los aspectos constructivos de los distribuidores neumáticos e hidráulicos.



6. En las electroválvulas industriales, con bobinas de un arrollamiento iguales, se puede desprestigiar las posibles tolerancias y, en consecuencia, se descarta la consideración de señales de mando de magnitud diferente en lo referente al dominio de la entrada.
7. Las válvulas electroválvulas biestables, suprimida la señal de accionamiento, mantienen su posición debido al rozamiento o a retenes. Siempre que se instale con la corredera en posición horizontal y no esté sujeta a vibraciones significativas.

Esto permite concluir:

1. Que los distribuidores de potencia de dos posiciones, con ambos accionamientos fluídicos, electromagnéticos o electro-pilotados fluídicamente, se puede evaluar su comportamiento de control mediante el modelo biestable fluídico.
2. El problema de señales permanentes para los distribuidores de tipología biestable y de tipología monoestable de 3 posiciones se podrá valorar con el modelo biestable fluídico.

3. En la siguiente figura se detalla comportamiento del modelo biestable neumático mediante la tabla de verdad.

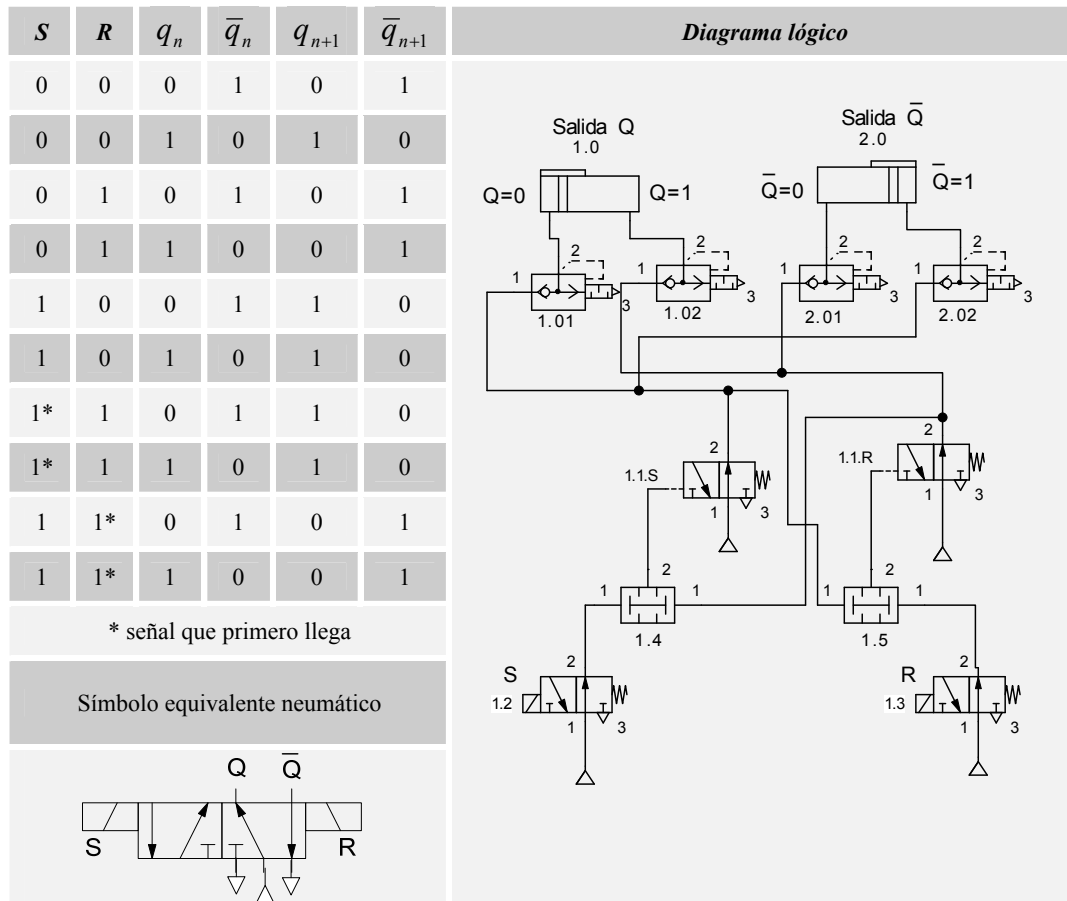


Figura 5.3.2.3.6.- Tabla de verdad del modelo biestable de las electroválvulas.

- La tabla de verdad para el modelo biestable hidráulico es semejante que en el caso neumático.
- En las electroválvulas de tipología biestable y monoestable de tres posiciones donde exista simultaneidad de señales, “señales permanentes”, no existirán situación de incertidumbre. Siempre, prevalecerá la posición de maniobra anterior cuando se activen simultáneamente los dos accionamientos.

## 6. Búsqueda del conocimiento mediante Técnicas combinatoriales



## 6 Búsqueda del conocimiento mediante Técnicas Combinacionales

### 6.1 Introducción

En esta parte de la Tesis se desarrollan metodologías combinacionales que sirven para la construcción del mando en conjunción con el circuito fluídico de potencia. Estas técnicas tienen su mayor uso en aquellos sistemas oleoneumáticos cuyo número de actuadores no exceda el valor de 4 y que precisen de una solución de operatividad de control simple, segura y económica. Las soluciones obtenidas se caracterizan porque determinadas combinaciones de los parámetros de entrada producen determinadas combinaciones de los parámetros de salida. Y por tanto, el orden en que aparecen las señales de entrada, en estas soluciones, no condicionan la ejecución de la secuencia. Sólo es importante la presencia de una combinación determinada de señales de entrada, para que sea disparada una determinada orden de mando.

Para la investigación, de la Técnicas combinacionales como solución del diseño de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, se realizan:

1. *Análisis* de soluciones de control combinacional, con objeto de identificar y conocer las problemáticas existentes en su aplicación a los circuitos electrohidráulicos y electroneumáticos.
2. La *síntesis* de diferentes sistemas de mando programable y el desarrollo de sus circuitos fluídicos de potencia que obedezcan al comportamiento y funcionamiento del sistema electrohidráulico y electroneumático requerido.

Para llevar a cabo esta labor, reseñar, dos aspectos: el primero el uso de los diagramas de funciones (expuestos en el Capítulo III) como herramienta para el análisis del comportamiento del sistema oleoneumático y para el desarrollo de la solución combinacional. Y en segundo, la Metodología y los Procedimientos de Diseño definidos en el Capítulo IV.

## 6.2 Premisas de diseño

Para el diseño de la solución combinacional, se parte de dos premisas:

- i. De que cada unidad de trabajo del sistema estará gobernada por un sólo distribuidor de potencia o por un conjunto de distribuidores cuyo efecto es el de un único mando.
- ii. y el uso de captadores de información (sensores de posición, transductores de presión, etc.) para verificar el cumplimiento de las órdenes de mando y, por tanto, las acciones de las unidades de trabajo.

Así, para el cumplimiento de la primera premisa y a modo de ejemplo, el efecto producido por un par de electroválvulas neumáticas 3/2 normalmente cerradas sobre un cilindro de doble efecto se puede asemejar al de una única electroválvula neumática 5/3 con posición central libre.

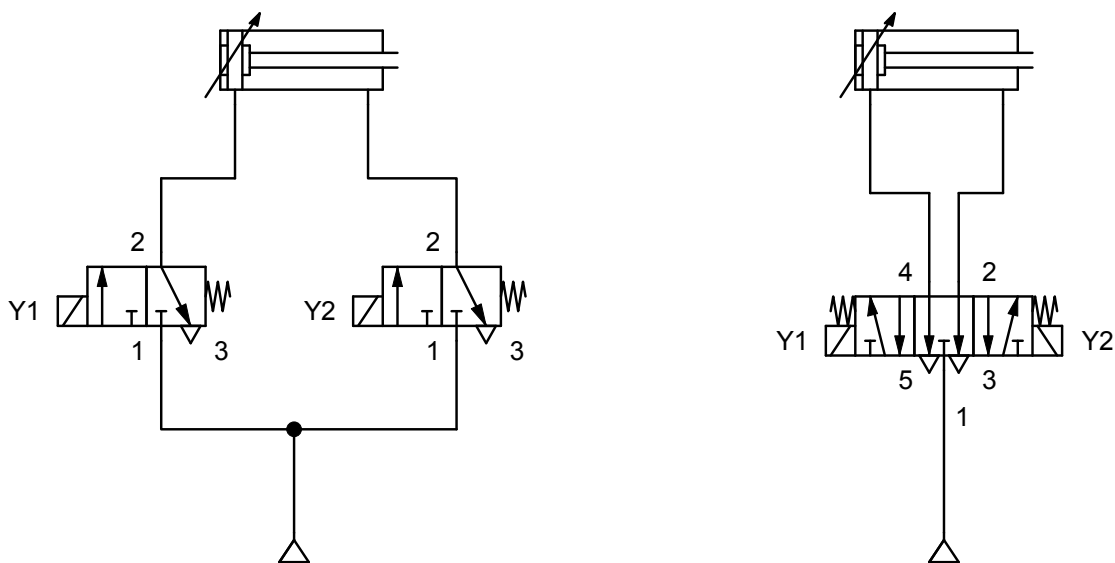


Figura 6.2.1.- Efectos de semejanza entre dos electroválvulas 3/2 y una 5/3.

En ambos circuitos, el efecto sobre el actuador es el mismo y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6.2.1.- Análisis de la Semejanza entre dos electroválvulas 3/2 y una 5/2.

| Acción Cilindro<br>Estado Bobina | Avance | Retroceso | Libre |
|----------------------------------|--------|-----------|-------|
| Y1                               | On     | Off       | Off   |
| Y2                               | Off    | On        | Off   |

Este único mando, a su vez, estará dirigido por las señales procedentes del Subsistema de Mando. Y estas órdenes son formuladas a partir de condiciones obtenidas de los captadores de información del sistema (sensores de estado, posición, de presión, etc.) y de las premisas determinadas por el operador, a través del HMI. Y de esta forma, se argumenta la segunda premisa expuesta: así por ejemplo, el uso de dos sensores de posición en un cilindro de doble efecto (colocados en mínima y máxima carrera) permite identificar las posiciones extremas de la carrera y supervisar el resultado de una acción de mando (movimiento de avance o retroceso).

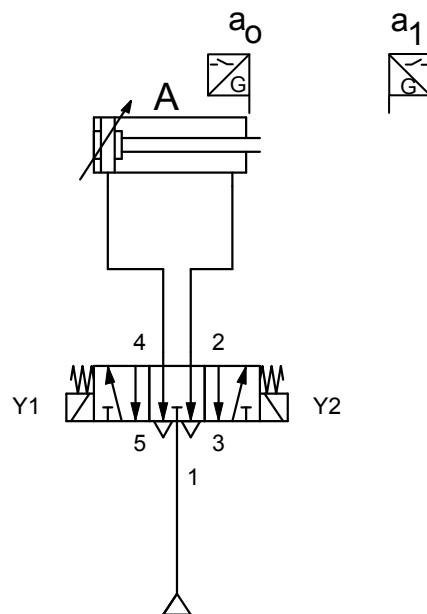


Figura 6.2.2.- Uso de sensores de posición en un cilindro doble efecto.

Además, el uso de captadores de información para verificar las acciones de las órdenes de mando conjuntamente con un programa de mando adecuado,

implicará: el poder construir sistemas electrohidráulicos o electroneumáticos con "una seguridad implícita en su diseño". De esta forma, en caso de fallo o avería, se podrá lograr que el sistema se paralice en modo seguro y que se señalice, tal hecho, al operador.

## 6.3 Análisis de Problemáticas

### 6.3.1 Señales permanentes

Para el desarrollo de los sistemas oleoneumáticos automatizados, se parte del hecho del que el gobierno de cada elemento de trabajo es realizado o asemejado a un único distribuidor de potencia. El cual, normalmente, puede ser una electroválvula direccional del tipo 3/2, 4/2, 4/3, 5/2, etc. y cuyas posiciones son controladas por las órdenes emitidas por el Subsistema de mando. Ahora, bien, si en un mismo distribuidor de potencia recibe dos órdenes diferentes simultáneamente, entonces, se produce una sobreposición de señales que impide que el distribuidor actúe de la forma precisa en el momento en el cual subsisten las dos señales. Para solventar este problema, denominado en esta Tesis como "señales permanentes", se sobreentiende que en primer término tiene que identificarse la situación y el momento en que puede producirse.

Para la detección de las señales permanentes, lo más aconsejable en los Sistemas Oleoneumáticos es emplear el diagrama de mando en unión con el diagrama desplazamiento-fase. Estos diagramas permiten analizar el estado y período de las órdenes de mando en conjunción con la secuencia de movimiento de los elementos de trabajo.

La mejor forma de entender la trascendencia de estos diagramas en la detección de señales permanentes es mostrarlo con casos prácticos. Se escoge, como primer ejemplo, la plegadora neumática y se estudia un modelo de control combinacional.



Inicialmente, se desarrolla el diagrama espacio-fase de la secuencia de la máquina plegadora considerando que las órdenes de mando vienen definidas por captadores de información que confirman la ejecución de cada fase y por las condiciones establecidas por el operador. En este caso, se dispone de sensores de posición de mínima y máxima carrera para cada uno de los tres actuadores de la máquina. La condición de marcha, se implementa de la manera más simple, a través de una botonera de mando en la que operador transmite sus órdenes. Así, el diagrama espacio-fase y de mando tendría la siguiente forma:

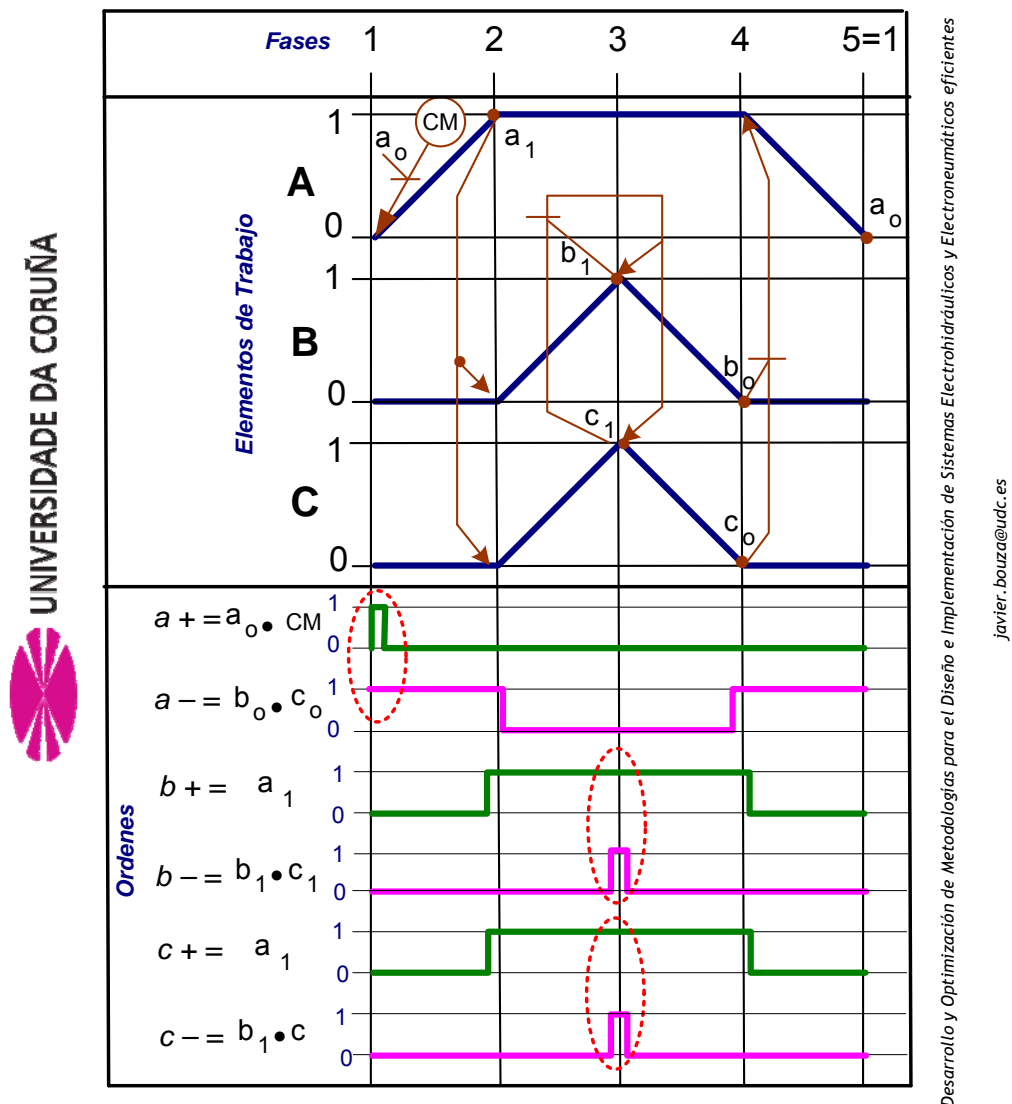


Figura 6.3.1.1.- Diagrama espacio-fase y de mando de la máquina Plegadora.

Una vez desarrollado estos diagramas y establecida la secuencia de la máquina, se pasa a la fase de análisis. Para ello y sin olvidar la premisa de que cada actuador estará gobernado por un único distribuidor de potencia, se procede a estudiar el efecto y la frecuencia de las órdenes de mando. El objetivo es localizar simultaneidad e incompatibilidades en las órdenes de mando que actúan sobre los distribuidores de potencia. La simultaneidad se debe valorar tanto para cada distribuidor como para el conjunto de todos los distribuidores. Y las consecuencias de la simultaneidad, puede ser tanto crítica como inocua para el sistema, dependiendo de la secuencia y de la tipología de funcionamiento de la válvula considerada.

Analizando los diagramas (Fig. 6.3.1.1) se encuentran tres puntos de estudio de simultaneidad de señales y se marcan sobre los diagramas. Profundizando en cada uno de estos puntos críticos, se tiene:

- Una señal permanente en el distribuidor de potencia que gobierna el cilindro A. Así, partiendo del reposo, al intentar iniciar la secuencia activando la condición de marcha en este distribuidor subsistirán dos órdenes de mando antagónicas: la de avance, conjunción del sensor de mínima carrera  $a_0$  y la condición de marcha; y la de recogida, producto de los sensores de mínima carrera  $b_0$  y  $c_0$ . Esta última señal que actúa en la etapa final de la secuencia (fase 4) perdura al ciclo siguiente y como se indica esta presente en la etapa inicial. Esta situación de simultaneidad producirá una anomalía de control sobre dicho distribuidor de potencia, que podrá o no afectar al funcionamiento del sistema dependiendo del diseño del circuito de control y de la tipología de la válvula. Lo más habitual, es que para el subsistema de mando prevalezca la orden que ha llegado con mayor anticipación: en este caso, la orden de recogida del cilindro A y, en consecuencia, la secuencia no se inicia al activar condición de marcha y el sistema no actúa.

- Otras dos señales permanentes, una en el distribuidor de potencia B y otra en el distribuidor de potencia C. La problemática, en ambos casos, es similar: cuando se da la orden de recogida de los cilindros B y C (producto de los sensores de máxima carrera  $b_1$  y  $C_1$ ), se produce una simultaneidad con la orden anterior de avance de los mismos. Esto genera una situación anormal en los órganos de control de potencia de los cilindros B y C que, normalmente, se traduce en que estos no ejecutaran la orden de recogida y el sistema se paraliza.

En consecuencia, en cada uno de los tres distribuidores de potencia acontece un problema de señales permanentes que si no se resuelve hace inviable el control mediante esta solución combinacional. Este análisis aplicado sobre diferentes tipologías de secuencia, experimentadas en el Laboratorio, permite inducir el siguiente postulado:

*“En toda solución combinacional de control, de un sistema oleoneumático, en la que no existen acciones antagónicas y consecutivas de un mismo actuador no se presentan problema de señales permanentes sobre sus distribuidores”*

O también:

*“Todo solución combinacional de control en cuya secuencia exista uno o varios actuadores que ejecutan la acción en una fase y la contraria en la siguiente: existirá posibilidad de señales permanentes en los distribuidores de potencia que gobiernan dichos actuadores”.*

De este postulado, se desprende que mediante un primer análisis por medio de la representación simplificada de la secuencia, se puede advertir si existe probabilidad de señales permanentes y en que distribuidores se puede producir. Por ejemplo, en el caso de la Plegadora, si se desarrolla su

representación simplificada se encuentran tres actuaciones consecutivas (se marcan con círculos) y, por tanto, tres posibilidades de señales permanentes:

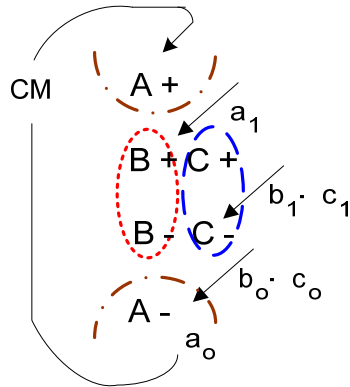


Figura 6.3.1.2.- Representación simplificada de la máquina Plegadora.

Y como, anteriormente, se analizó con el diagrama espacio-fase y de mando se ratifica la existencia de señales permanentes en los tres distribuidores de potencia. Por esa razón, la solución de control desarrollada por combinación de las entradas que ejecutan cada fase no funciona.

Pero es muy importante subrayar, que el análisis obtenido por medio de la representación simplificada sirve de condición necesaria pero no suficiente para la determinación de señales permanentes. Así, la evidencia de la presencia de señales permanentes se confirmará con los diagramas espacio-fase y de mando. Para refrendar este último apunte, se estudia la siguiente secuencia

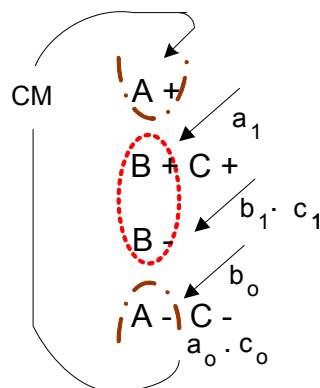
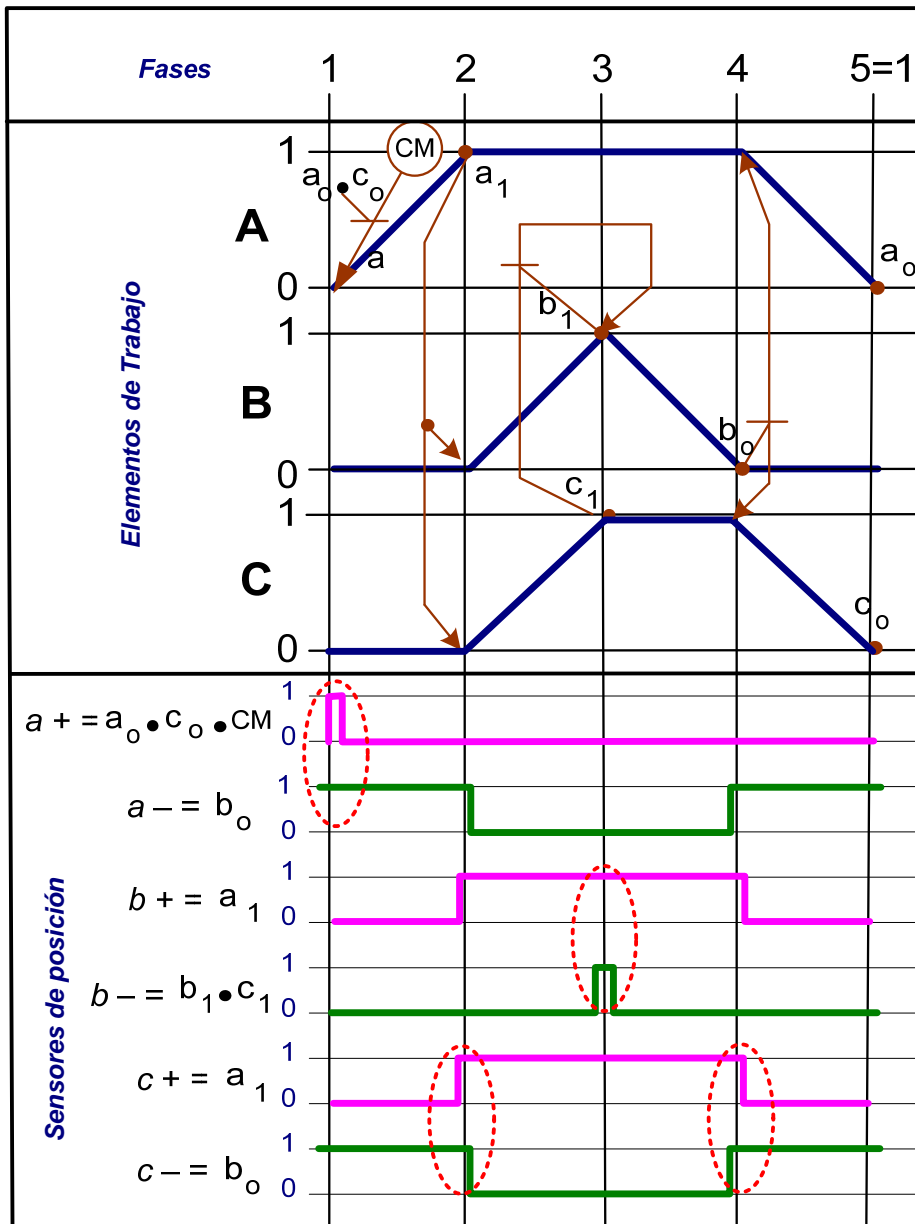


Figura 6.3.1.3.- Representación simplificada Secuencia ejemplo 2.

En esta representación simplificada, de una secuencia de tres actuadores, existen dos actuadores donde sus movimientos acontecen consecutivamente. De lo que se deduce que existen dos posibilidades de señales permanentes sobre los distribuidores que gobiernan los actuadores A y B. Y desarrollando el diagrama de mando, se ratifica la presencia de las señales permanentes en los mismos y su efecto crítico, impidiendo la ejecución de la secuencia. Pero, a mayores, se localizan otras dos simultaneidades cuando se desarrollan los diagramas funcionales sobre el distribuidor C en las fases 2 y 4. Estas simultaneidades tendrán un efecto leve y no repercutirán en la correcta ejecución de la secuencia si se considera que las electroválvulas empleadas son de accionamiento electromagnético de corriente continua<sup>35</sup> (independiente de su carácter monoestable o biestable): en la etapa 2 se produce un ligero retraso del inicio del cilindro C con respecto al B, puesto que ha de salir primero éste para que la simultaneidad de señales desaparezca en el distribuidor que gobierna C y actúe la orden de avance,  $c+$ ; y en la etapa 4 hay un leve retraso de la recogida del cilindro C con respecto a A para que, análogamente, desaparezca el problema de señales permanentes en el distribuidor y actúe la orden de recogida,  $c-$ .

---

<sup>35</sup> en esta Tesis, si no se indica otra tipología diferente, se entiende que las electroválvulas empleadas tienen accionamientos electromagnéticos de corriente continua. Este es el más frecuente en los sistemas oleohidráulicos o neumáticos industriales. Los motivos de su implantación se encuentra justificados en el capítulo V.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.3.1.4.- Diagrama espacio-fase y de mando Secuencia ejemplo 2.

De este último ejemplo, se induce que la representación simplificada no sirve para el análisis de señales permanentes en caso de emplear, para la implementación, distribuidores de potencia con accionamientos electromagnéticos de corriente alterna. Y será imprescindible un estudio mediante los diagramas espacio-fase y mando. De esto, surgen los siguientes postulados:

*“El uso de la representación simplificada para el análisis de señales permanentes en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos sólo sirve en el caso de tipologías de distribuidores de potencia que presentan accionamientos electromagnético de corriente continua”.*

y

*“El uso de los diagramas espacio-fase y mando, en los sistemas oleoneumáticos, permite disponer de una herramienta para el análisis de las señales permanentes, que es independiente de las tipologías de accionamiento de los distribuidores de potencia empleados”*

Pero si para esta misma secuencia se eligen como condiciones de transición “todos los sensores presentes al iniciarse la fase” (en vez de “los que confirman la ejecución de cada fase”), entonces, la situación cambia.

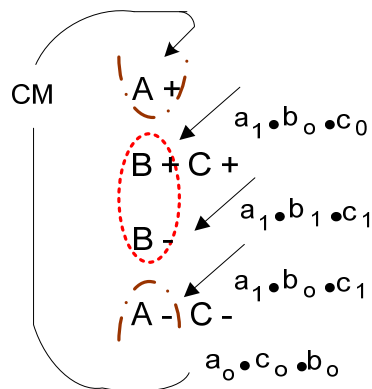


Figura 6.3.1.5.- Representación simplificada Secuencia ejemplo 2 - variante 2.

Si bien, al igual que antes, la representación simplificada indica dos posibilidades de señales permanentes. Ahora, realizando el estudio mediante los diagramas espacio-fase y de mando, se descarta tal posibilidad sobre los distribuidores que gobiernan los actuadores A y B.

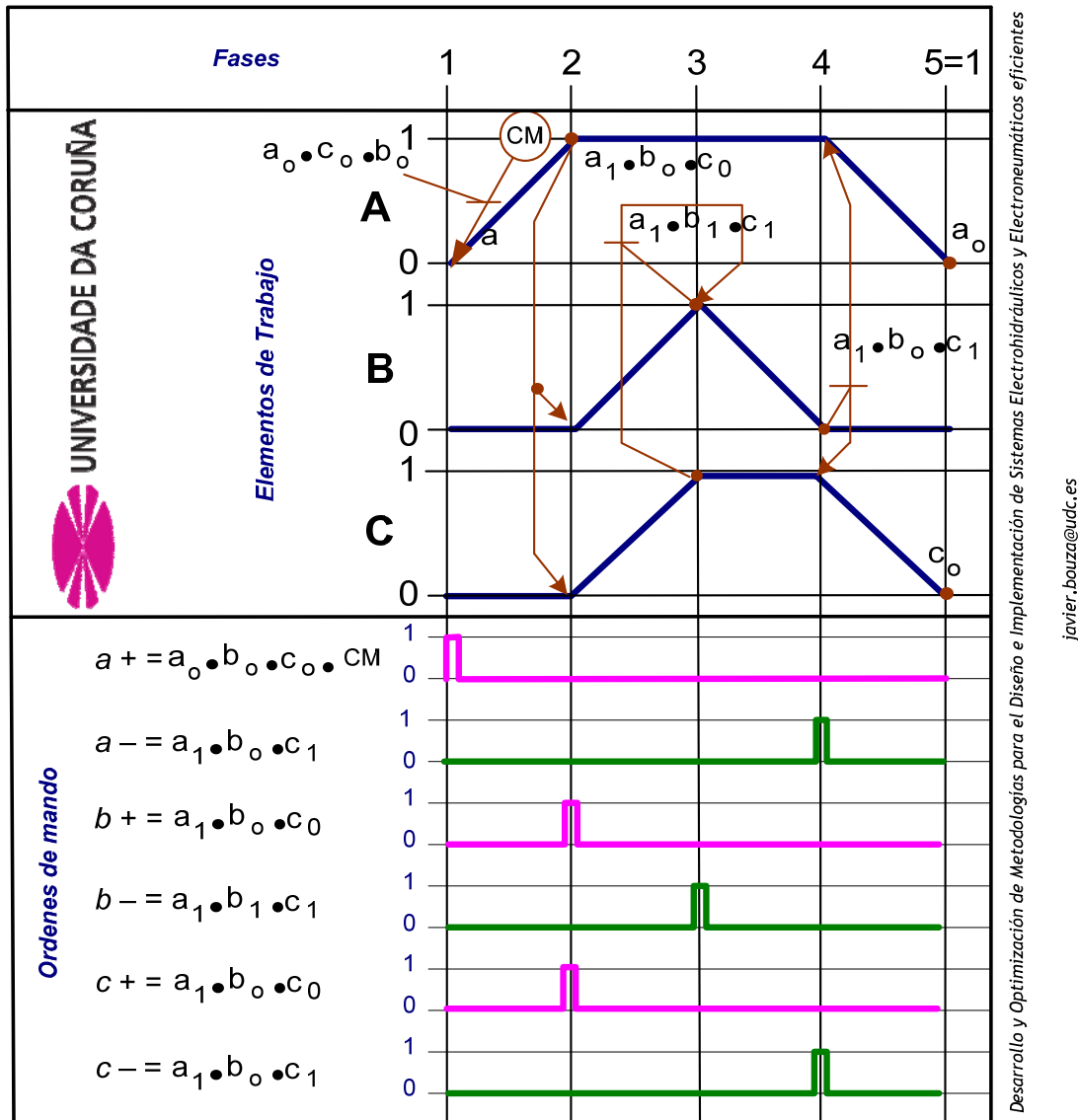


Figura 6.3.1.6.- Diagrama espacio-fase y de mando Secuencia ejemplo 2- variante2.

En consecuencia, el estudio a través de la representación simplificada de las señales permanentes en los sistemas oleoneumáticos combinacionales sólo servirá para distribuidores con accionamientos electromagnéticos de corriente continua y permitirá garantizar la inexistencia pero no la existencia de señales permanentes, la cual sólo se podrá verificar mediante el diagrama de mando y espacio-fase.



### 6.3.2 Semejanza de Órdenes

Retomando el primer ejemplo de la Plegadora neumática y considerando como condiciones de transición los sensores presentes al iniciarse la fase, su representación simplificada y su análisis previo es el siguiente:

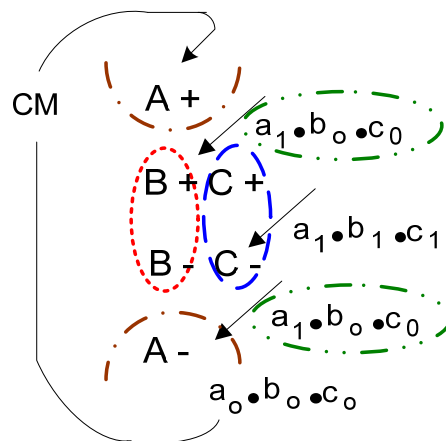
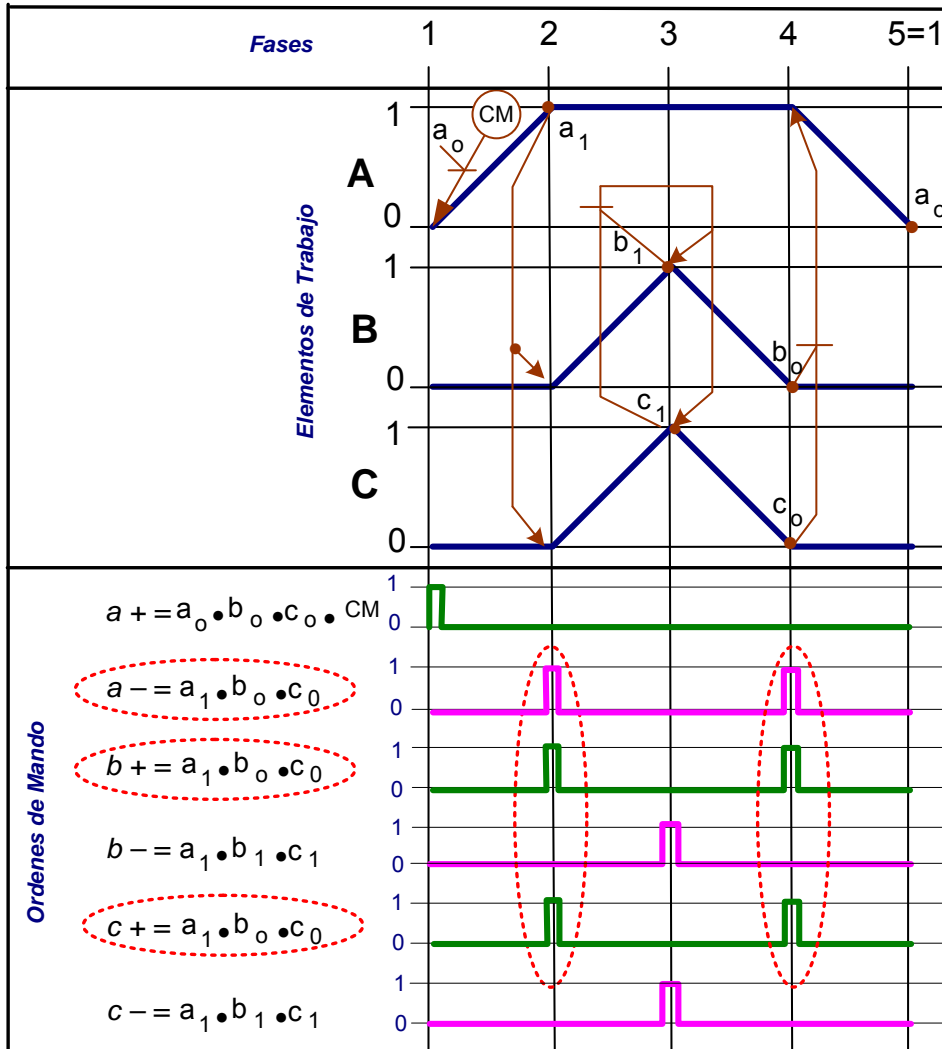


Figura 6.3.2.1.- Representación simplificada de la máquina Plegadora - variante 2.

De este análisis previo, se infiere que, además, de existir posibilidad de señales permanentes en tres distribuidores se encuentra otra contrariedad: *órdenes de mando cuyas definiciones son semejantes y que ejecutan acciones distintas en etapas diferentes de la secuencia*. A este problema se le denomina, en esta Tesis, “semejanza de órdenes”

Para profundizar y concluir en resultados, se realiza el estudio mediante los diagramas espacio-fase y mando:



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.3.2.2.- Diagrama espacio-fase y de mando de la máquina Plegadora- variante 2.

- ✓ Se desmiente la existencia de señales permanentes sobre cada distribuidor del sistema.
- ✓ Se verifica la coexistencia de tres órdenes de mando semejantes en dos intervalos de tiempo diferentes. Dos de estas órdenes,  $b+$  y  $c+$ , se deben ejecutar sincrónicamente en la etapa 2 mientras que la orden  $a-$  se debe ejecutar en la etapa 4. Las dos órdenes sincrónicas no generan ninguna situación anómala para el Subsistema de mando, puesto que se

interpretan como una única orden con dos acciones diferentes (no antagónicas) que se inician simultáneamente. Pero, si hay problemas entre estas dos y la orden  $a$ — ya que se realizan en etapas diferentes. Sin obviar, que el subsistema de mando interpreta una solución combinatorial “desvinculada del tiempo”. En consecuencia, la conjunción de los sensores  $a_1$ ,  $b_0$  y  $c_0$  en las etapas 2 y 4 provocará que el subsistema de mando ordene simultáneamente 3 acciones que romperán el orden y sincronismo de la secuencia y, en definitiva, el sistema no funcionará correctamente.

La aplicación de este análisis a diferentes tipologías de secuencia con diferentes condiciones de entrada y su ensayo en el Laboratorio, permite inducir:

“Que las secuencias que disponen sus fases de actuación alternativamente sin que nunca se repita la actuación consecutiva de cualquiera de sus actuadores y que, además, mantienen una simetría con respecto a la mitad de la secuencia, y que en esta tesis pasaran a denominarse “secuencias de inversión exacta”, no producen ni problema de señales permanentes ni problema de semejanza de órdenes”.

Y se puede postular:

*“Una solución combinatorial para un sistema electrohidráulico o electroneumático no tendrá problema de señales permanentes ni de semejanza de órdenes de mando cuando al desarrollar su representación simplificada de la secuencia y dividirla por la mitad, presenta las letras de los actuadores en el mismo orden en ambas partes. A este tipo de secuencia se le denomina secuencia de inversión exacta”.*

## 6.4 Método Combinacional I

### 6.4.1 Desarrollo del Método

Con este apartado, se inicia el primer método combinacional para el diseño y desarrollo del mando programable de aquellos sistemas oleoneumáticos que no presentan problemas de señales permanentes ni semejanza de órdenes. A esta categoría, pertenece la secuencia de inversión exacta.

Este “Método combinacional I”, se desarrolla con las entradas procedentes del HMI y de la parte operativa. En cuanto, a las entradas de la parte operativa se implementan mediante la disposición de captadores de información (sensores de posición, transductores de presión, etc.) que señalicen los distintos estados de los actuadores hidráulicos y neumáticos (mínima o máxima carrera, detección de la carga, etc.).

En el siguiente organigrama se muestra un procedimiento para definir las entradas de posición procedentes de la parte operativa del sistema electrohidráulico o electroneumático. Según este procedimiento:

- ✓  $N$  es el número de actuadores, y que es un número entero. Se traducirá de manera correlativa por las letras del alfabeto. Así un  $0="A"$ ,  $1="B"$ ,  $2="C"$ ,... De esta forma, se identifica de manera normalizada los actuadores. A su vez, la  $n$  minúscula se traducirá por su respectivo valor en minúscula para identificar el captador de información.
- ✓ Las variables  $K$  y  $R$  representan el número de actuadores lineales y de actuadores rotativos, respectivamente. La variable  $L$  sirve para identificar que sólo se utilizan actuadores lineales ( $L=1$ , en caso contrario  $L=0$ )
- ✓  $M$  es el número de captadores de información. Y recordando la designación de los captadores, p.ej., para el actuador A si presenta dos sensores ( $M=2$ ) su denominación será  $a_0$  y  $a_1$ . De aquí surge, la designación  $n_s$  donde  $S$  es un número entero menor que  $M$ .
- ✓ La salida genera una matriz donde sus vectores tienen como elementos: la identificación del actuador, el número de sensores, la posición de cada uno de los sensores expresada en tanto por ciento de la carrera del actuador.

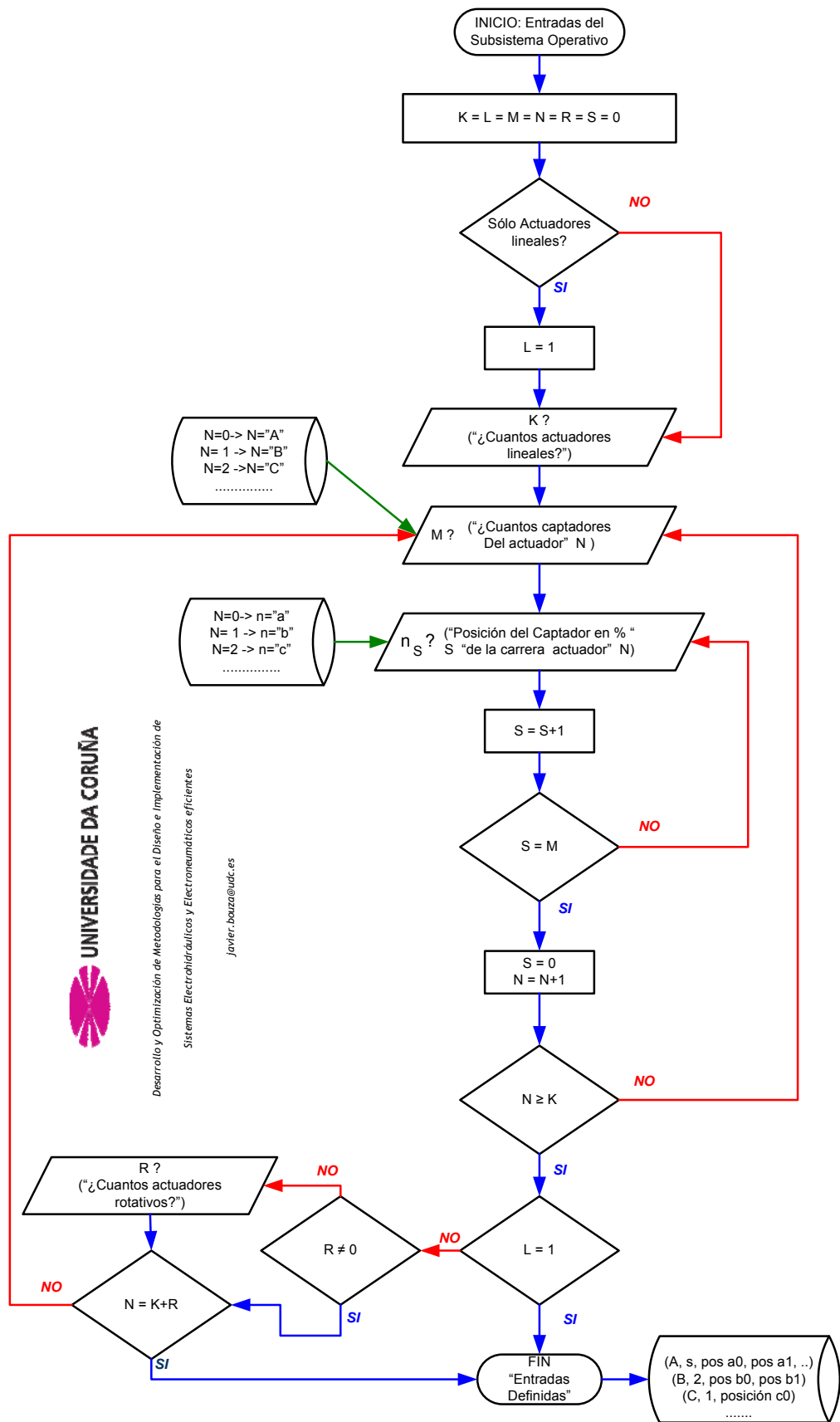


Figura 6.4.1.1.- Procedimiento para definir las Entradas de posición del Subsistema Operativo.

Una vez determinadas las variables de entrada, se afronta el primer bloque de la Síntesis (“la secuencia de funcionamiento”) con un único modo de operación genérico denominado “CM” (acrónimo de “condición de marcha”). Con estas entradas y la “CM” se analizan las diferentes posibilidades para la resolución del algoritmo de funcionamiento<sup>36</sup>.

A continuación, se comprueba la inexistencia de señales permanentes y de semejanza de órdenes críticas. La manera rápida de hacerlo es comprobar si la secuencia en estudio es una “secuencia de inversión exacta”. Para determinarlo, se verifica si cumple el postulado: “una secuencia es de inversión exacta cuando al dividir su representación simplificada por escrito por la mitad, presenta las mismas letras en el mismo orden en ambas partes”. Así, por ejemplo, si se considera la secuencia con representación simplificada horizontal  $A+ B+ A- B-$  es de inversión exacta, pues en la primera mitad se ve primero que avanza A y luego B, y en la segunda parte retroceden en el mismo orden. No ocurre lo mismo con la secuencia  $A+ B+ B- A-$  que no es de inversión exacta.

En el caso de que no sea una secuencia de inversión exacta y para seguir aplicando el método, es necesario verificar la inexistencia de señales permanentes y de semejanza de órdenes críticas mediante el diagrama espacio-fase y de mando. En esta situación, se aplica directamente el Diagrama espacio-fase con las entradas presentes al iniciarse la fase. En caso positivo de existencia, el Método combinacional I no es resolutivo y se pasa a aplicar el Método combinacional II que se expone en esta Tesis.

Una vez garantizada la inexistencia de señales permanentes y semejanza de órdenes, se estudian las diferentes posibilidades para la resolución del algoritmo de funcionamiento con las entradas y la “CM”. De la experimentación en laboratorio se opta por dos soluciones:

1. la que se desarrolla, únicamente, con las entradas que confirman la ejecución de fase y que se utilizará exclusivamente con secuencias

---

<sup>36</sup> Posteriormente, en esta Tesis y siguiendo el procedimiento expuesto en el método IV, se tratará el

de inversión exacta. A esta solución, se le denominara “solución mínima”

- o bien, la que se resuelve mediante las entradas que están presentes al iniciarse la fase, que se denominará “solución óptima” y por la que preferentemente se apuesta.

Así, a modo de ejemplo para la secuencia de inversión exacta anterior, se generan susodichas soluciones en su representación simplificada y en sus respectivos diagramas espacio-fase y de mando.

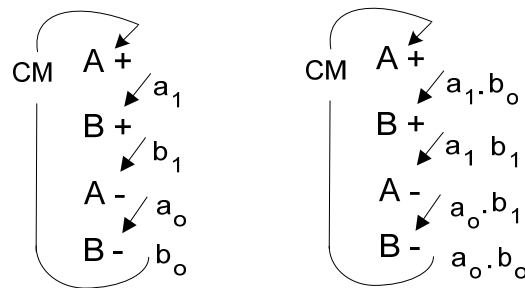


Figura 6.4.1.2.-Representación de las soluciones del algoritmo de funcionamiento de una secuencia ejemplo de inversión exacta.

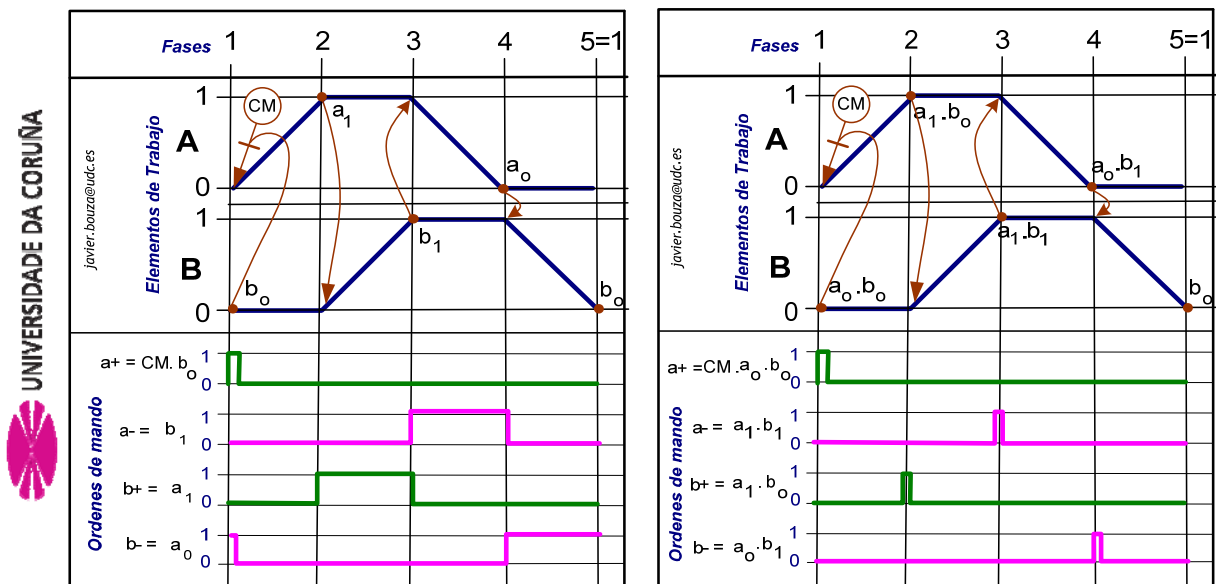


Figura 6.4.1.3.-Diagrama espacio-fase y de mando de las soluciones del algoritmo de funcionamiento de una secuencia de inversión exacta.

segundo Bloque de la síntesis consistente en la implementación de los modos de operación y seguridad.

En estos diagramas, como se aprecia, se confirma la inexistencia de señales permanentes y de semejanza de órdenes. Condiciones necesarias para la validez de este primer método, independientemente de la solución adoptada.

### 6.4.2 Implementación y optimización

#### 6.4.2.1 Introducción

En este apartado, se optimiza la secuencia de funcionamiento y se implementa el circuito fluídico para el Método Combinacional I.

Para ello, se investiga en:

1. Las distintas soluciones del algoritmo de funcionamiento y se comparan las configuraciones con el objetivo de optimizar al máximo las órdenes de mando y, por tanto, la solución combinacional.
2. En la influencia de la tipología del distribuidor de potencia empleado: su repercusión en el funcionamiento de la secuencia y, lógicamente, en la solución adoptada.

#### 6.4.2.2 Las órdenes de mando

Se continúa el análisis empezando con la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- y la primera solución escogida (“los sensores de posición que confirman la ejecución de cada fase).

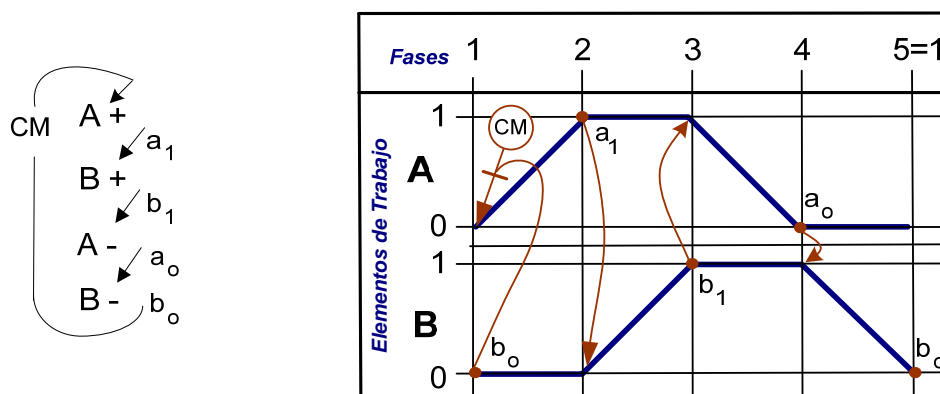


Figura 6.4.2.2.1.- Representación de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B-



Así, examinando el diagrama, será la condición de marcha conjuntamente con el final de carrera  $b_0$ , los encargados de generar la orden correspondiente a la primera fase del ciclo de trabajo. Como se ha indicado, en este primer bloque de la síntesis del algoritmo de funcionamiento se emplea una *condición de marcha genérica* o “CM”. En el segundo bloque de la síntesis, que se relata en apartados posteriores de esta Tesis, se desarrollará esta condición de marcha de manera explícita. No obstante, es interesante entender ahora que esta condición de marcha explícita no sólo puede venir determinada mediante una botonera de mando sino también por una conjunción con un detector de presencia de pieza y/o humana o una barrera de seguridad o por la confirmación de que todos los actuadores están en su posición de reposo, etc. Este último requisito, por ejemplo, puede parecer redundante, ya que es obvio que la terminación de toda secuencia será dejar al sistema en condiciones iniciales para poder empezar un nuevo ciclo. Pero existen situaciones de fallo, de puesta en marcha o de mantenimiento que posicionan a los actuadores en condiciones que no son las del estado de partida. Una vez iniciado el ciclo, será el captador  $a_1$  el encargado de confirmar la finalización de la primera fase y dar la orden de comienzo de la segunda. De manera análoga, sucede con  $b_1$  y  $a_0$  que finalizan, respectivamente, la tercera y cuarta fase e inician la siguiente. Por último, el sensor  $b_0$  será el encargado de señalar el final del proceso. De esta interpretación, se desarrollan las ecuaciones que definen cada etapa de la secuencia:

Tabla 6.4.2.2.1.- Órdenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B-

| Fase | Acción | Ecuación de las órdenes de mando |
|------|--------|----------------------------------|
| 1    | A+     | $a + = CM \bullet b_0$           |
| 2    | B+     | $b + = a_1$                      |
| 3    | A-     | $a - = b_1$                      |
| 4    | B-     | $b - = a_0$                      |

Como se observa, las ecuaciones que definen el algoritmo de funcionamiento de esta secuencia están constituidas exclusivamente por un solo sensor de posición con la excepción de la fase uno. Ésta es la orden para iniciar el ciclo, en la que hay una conjunción de un sensor de posición con la condición de marcha (es decir, la función lógica “Y” de estas dos entradas).

Como, además, este sistema de ecuaciones es linealmente independiente, se garantiza que cada una estas ecuaciones será responsable de una única fase de la secuencia. Si se diera el caso que una única ecuación fuera la orden de mando de la acción de diferentes actuadores no se provocaría ninguna problemática al subsistema de control siempre que actuaran en la misma etapa.

Continuando con el estudio, se retoma el diagrama espacio-fase y se le añade el diagrama de mando. De esta manera, se analiza la simultaneidad de señales que existirá entre los distribuidores de potencia.

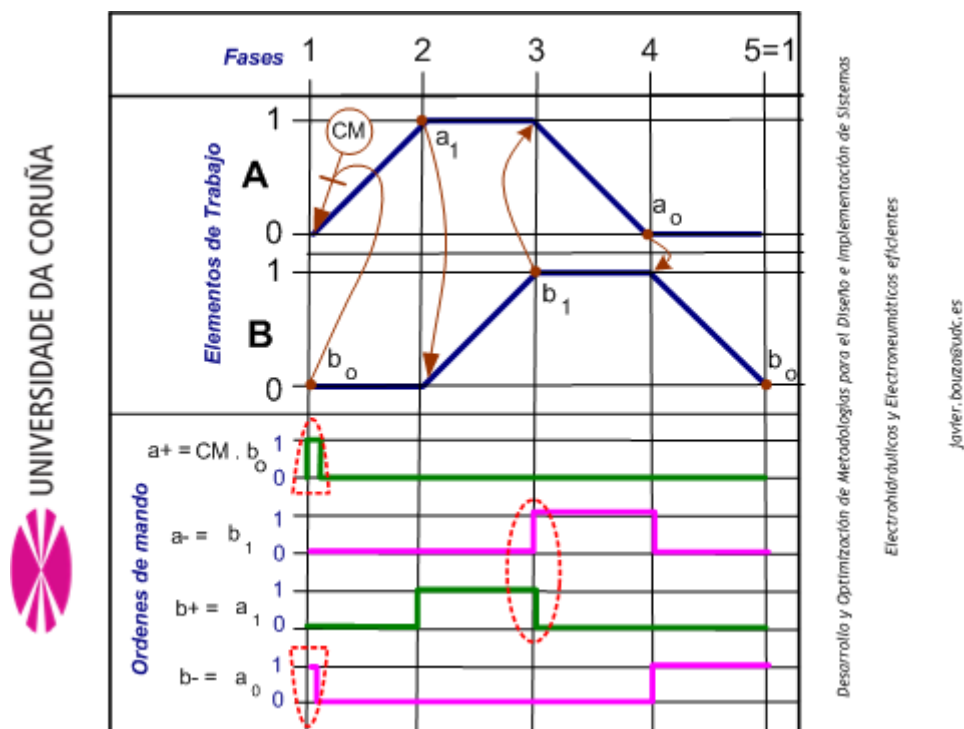


Figura 6.4.2.2.2.- Diagrama Espacio-Fase y de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B-

Y se detectan dos simultaneidades de las órdenes de mando en distribuidores de potencia diferentes:

1. por un lado, en la etapa 1, la orden  $b-$  se encuentra presente sin que sea necesaria hasta que se inicia el avance del cilindro A
2. y por otro, en la fase 3, la orden  $a-$  coincide con la orden anterior  $b+$  ya ejecutada.

En ambos casos, esta simultaneidad de órdenes sobre distribuidores potencia diferentes origina que se encuentren sus accionamientos eléctricos excitados sin una necesidad real. Aunque este hecho, en los distribuidores de potencia con accionamiento electromagnético de corriente continúa (él más habitualmente empleado) no altera el correcto funcionamiento de la secuencia si, en cambio, incrementará el tiempo de respuesta y un mayor consumo y fatiga eléctrica.

Con objeto de eliminar *el mando sin efecto*, se cambia la composición de las órdenes de mando. Y se considera, la segunda solución adoptada, “las entradas que están presentes al iniciarse la fase”

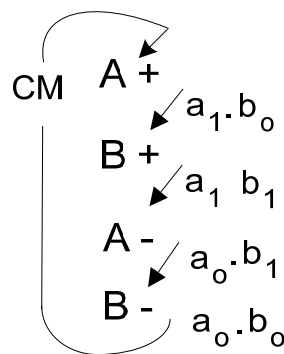


Figura 6.4.2.2.3.- Representación simplificada de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 1.

Así, aplicando esta nueva composición, se obtiene el siguiente diagrama espacio-fase y diagrama de mando.

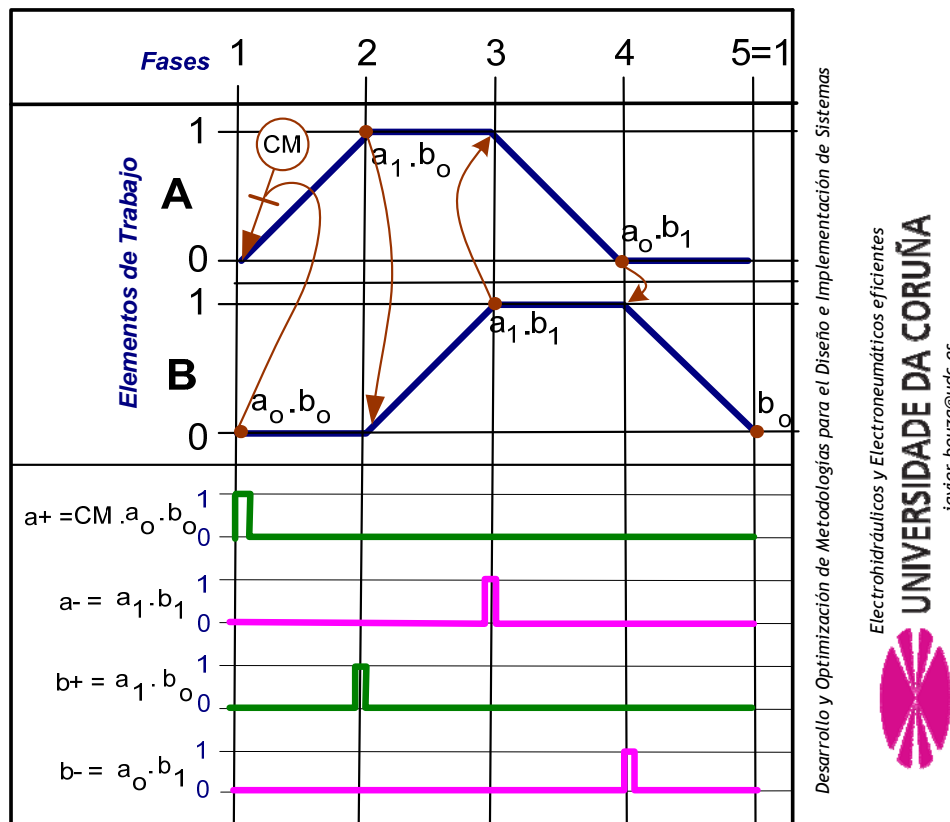


Figura 6.4.2.2.4.- Diagrama espacio-fase y de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 1.

Con estos diagramas, se demuestra que se elimina cualquier posibilidad de señales simultáneas sobre distribuidores diferentes y, en consecuencia, las señales sin efecto. Surge la incógnita de si el período de los pulsos producidos por las señales de mando será de valor suficiente como para ser captados por el subsistema de control. La respuesta es, claramente, afirmativa y sustentada en el ensayo y el conocimiento de las prestaciones, declaradas por el fabricante, de los elementos electro neumáticos o electrohidráulicos y de control empleados. *Por tanto:*

*La solución óptima del Método combinacional I permite eliminar los órdenes de mando sin efecto y consigue la minimización del consumo eléctrico de los distribuidores de potencia empleados.*

Las ecuaciones obtenidas para la definición del algoritmo de control, en este caso, son:

Tabla 6.4.2.2.2.- Órdenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 1.

| Fase | Acción | Ecuación de las órdenes de mando   |
|------|--------|------------------------------------|
| 1    | A+     | $a + = CM \bullet a_0 \bullet b_0$ |
| 2    | B+     | $b + = a_1 \bullet b_0$            |
| 3    | A-     | $a - = a_1 \bullet b_1$            |
| 4    | B-     | $b - = a_0 \bullet b_1$            |

Esta nueva configuración, no solo permite eliminar órdenes de mando innecesarias o sin efecto sino que, también, mejora ostensiblemente la seguridad de funcionamiento de la secuencia sin suponer un incremento de nuevos elementos. Para entender la mejora en la seguridad, basta recordar que esta solución es combinatorial y que el subsistema de mando la ejecuta por el cumplimiento de las ecuaciones lógicas. Y cuantas más variables compongan las mismas, más se garantizan la seguridad del sistema electrohidráulico y electroneumático. Así, como ejemplo, puede acontecer la situación de mal funcionamiento de uno o varios sensores de presencia electrónicos que generen el cumplimiento de una ecuación, lo cual podría provocar una actuación inadecuada del sistema.

Es interesante indicar también que esta nueva configuración compromete su implementación mediante sistemas de control poco adaptables (como son los sistemas cableados), con las entradas presentes al iniciar la fase, puesto que repercuten en un mayor número de elementos y, por tanto, en un mayor coste del sistema. Esta circunstancia, como se ha visto, no ocurre en los sistemas de control programables de tipo industrial, cuya capacidad cubre con creces los recursos necesarios para la elaboración de los sistemas combinatoriales más complejos, y su uso dependerá entonces del propio criterio del diseñador.

Como conclusión, se puede postular:

*Una secuencia de inversión exacta resuelta con la solución óptima del Método combinacional I no produce señales simultáneas, ni sobre un mismo distribuidor (“señales permanentes”), ni sobre distribuidores diferentes.*

Otra posibilidad estudiada, es definir cada orden considerando como condiciones de entrada “el estado de todos los sensores del sistema en cada etapa”, tanto los que están activos como los que no. De esta forma, se logra que a medida que se ejecuta el programa de control se verifique, indirectamente, el correcto funcionamiento de los sensores de entrada empleados. Así, en el ejemplo estudiado, las ecuaciones son:

Tabla 6.4.2.2.3.- Órdenes de mando de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con mando sin efecto variante 2.

| Fase | Acción | Ecuación de las órdenes de mando                                      |
|------|--------|---|
| 1    | A+     | $a+ = CM \bullet a_0 \bullet b_0 \bullet \bar{a}_1 \bullet \bar{b}_1$ |
| 2    | B+     | $b+ = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{a}_0 \bullet \bar{b}_1$            |
| 3    | A-     | $a- = a_1 \bullet b_1 \bullet \bar{a}_0 \bullet \bar{b}_0$            |
| 4    | B-     | $b- = a_0 \bullet b_1 \bullet \bar{a}_1 \bullet \bar{b}_0$            |

Esta opción puede ser oportuna cuando el número de entradas es pequeño pero se hace enrevesado a medida que el sistema combinacional incrementa las mismas, complicando la solución y el desarrollo del programa. Además, el hecho de verificar el correcto estado de las entradas no garantiza que el sistema oleoneumático se sitúe en “un estado seguro”. Así, cuando uno o varios sensores fallan, el sistema puede actuar indebidamente dependiendo de si se cumple alguna de las ecuaciones de control. Y si el sistema no actuará, mantendrá su estado anterior que no tiene porque ser el de reposo. Por todo ello, y para los métodos expuestos en esta Tesis, se descarta la posibilidad de considerar todos los sensores del sistema como

condiciones de entrada y se opta, preferentemente, por desarrollar (en el segundo Bloque de la síntesis del algoritmo) rutinas de diagnóstico en el programa de control (por ejemplo, al inicio del ciclo o en situaciones de incumplimiento de las órdenes). Este criterio permite desarrollar, en esta Tesis, algoritmos de control que no sólo detecta fallos de los elementos y de las operaciones del sistema oleoneumático sino que informan y sitúan al sistema en un estado seguro, evitando cualquier accidente o riesgo humano.

### **6.4.2.3 Análisis del distribuidor de potencia empleado**

#### **6.4.2.3.1 Introducción**

Como se explico, en el capítulo IV, antes de iniciar la fase de Síntesis se define las características que el distribuidor de potencia debe disponer para responder a las prestaciones operativas del actuador (fuerza, par y velocidad) de manera segura. Pero es ahora, en la parte de diseño del mando, donde se debe incorporar la tipología de accionamiento eléctrico que optimice el control del funcionamiento e incremente la seguridad del sistema electrohidráulico y electroneumático.

En el apartado anterior, se ha estudio el desarrollo del bloque de funcionamiento en la Síntesis de la secuencia de Inversión Exacta desde la perspectiva de la optimización de las órdenes de mando. En este apartado, se investiga sobre la influencia de la tipología del distribuidor de potencia empleado en susodicha síntesis. Se analizarán, en concreto, los dos comportamientos de control más habituales en los distribuidores de potencia: el comportamiento monoestable y el biestable; y se introducen un elemento auxiliar de control sobre los distribuidores: la memoria biestable asíncrona RS. De este estudio, del comportamiento de los Distribuidores de Potencia y su adecuación, se obtiene un procedimiento predefinido que son las “Memorias de control” que incrementan de manera notable la seguridad implícita del diseño.

6.4.2.3.2 Distribuidores de comportamiento monoestable.

En los circuitos fluidicos de potencia es frecuente emplear electroválvulas 4/2, 4/3, 5/2 y 5/3 monoestables (estas dos últimas exclusivas de la neumática), ya sean de accionamiento directo o servopilotado. A modo de ilustración, se muestra una posible configuración para realizar la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- con un circuito hidráulico con electroválvulas 4/2 de accionamiento directo y con un circuito neumático con electroválvulas 5/2 servopilotadas.

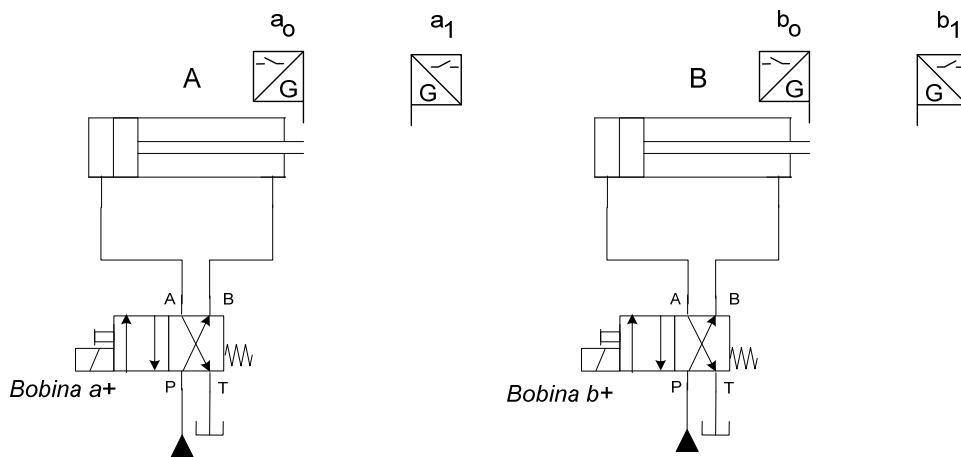


Figura 6.4.2.3.2.1.- Configuración con electroválvulas monoestables 4/2 de la secuencia A+ B+ A- B-

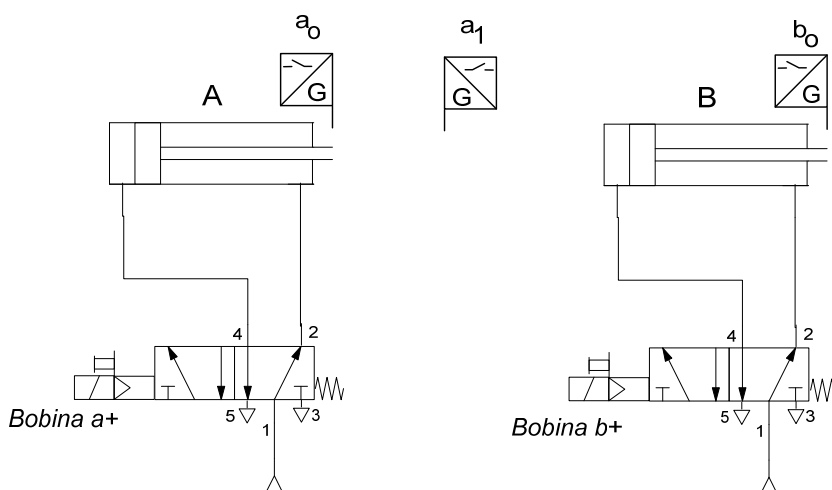


Figura 6.4.2.3.2.2.-Configuración con electroválvulas monoestables 5/2 de la secuencia A+ B+ A- B-



En ambos circuitos, la posición estable de los distribuidores, “la del muelle”, produce la recogida de los actuadores y establece esta posición como de reposo del sistema. Las posiciones accionadas electromagnéticamente de las electroválvulas 4/2, 4/3, 5/2 y 5/3 serán los estados inestables de las válvulas y es necesario conservar la tensión sobre las bobinas mientras se desee mantener activada esta posición. Esta situación no genera problemática cuando la duración de la señal de mando coincide con el período de actuación del estado inestable del distribuidor. Pero, como se mostrará, esta situación no siempre ocurre y tampoco es la más idónea. Y por tanto, *se propone emplear memorias de control, del tipo biestable RS asíncrono, en el desarrollo del algoritmo de funcionamiento.* Éstas garantizan el efecto de la orden sobre la posición o posiciones inestables del distribuidor monoestable durante todo su período de ejecución sin necesidad de mantener continuamente la señal de mando.

De lo anterior, se afirma:

*El uso de electroválvulas monoestables, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, exige al subsistema de control que para activar un estado inestable, de este tipo distribuidor, sea necesario mantener la tensión de mando sobre su respectivo accionamiento electromagnético durante todo su tiempo de actuación*

El procedimiento predefinido de las Memorias de control, en las electroválvulas monoestables, consisten en introducir una memoria biestable RS asíncrona para cada estado inestable del distribuidor. Así, una electroválvula monoestable 4/2 o 5/2 necesitará una memoria y una 4/3 o 5/3 necesitará dos memorias, una para cada uno de los dos estados inestable. Se debe recordar lo tratado en el capítulo V: que cada memoria RS define dos estados estables para su salida Q : “activación”  $q_n = 1$  o “desactivación o borrado”  $q_n = 0$ . Estos dos estados se activan, desactivan o permanecen en su estado original en función de los valores de sus entradas S, R y del estado inicial de salida  $q_{n-1}$ , necesitando únicamente un pulso de señal en estas entradas para cambiar su estado. De este recordatorio, se deduce que:

- i. El uso de memorias de control aplicadas a las electroválvulas monoestables permiten activar sus posiciones inestables con pulsos de señal.
- ii. Al garantizar “la no presencia de señales permanentes” en el distribuidor de potencia se asegura la eliminación del posible estado de incertidumbre del biestable RS.

Y de todo esto, se postula que:

1. El uso de memoria de control, en los distribuidores de tipología monoestable, garantiza el efecto de una orden de mando sobre una posición inestable sin necesidad de mantener continuamente la señal de activación de la misma.
2. El Procedimiento predefinido de las memoria de control, para los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, que emplean distribuidores de tipología monoestable requiere de tantas memorias biestable RS asíncronas como número de posiciones inestables de los mismos.

Y la estructura de aplicación de la memoria de control sobre el distribuidor monoestable es:

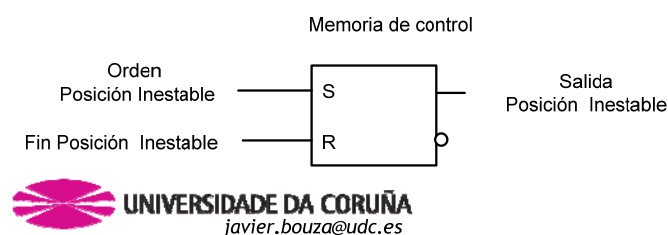


Figura 6.4.2.3.2.3.-Estructura de la memoria de control en las electroválvulas monoestables.

Para demostrar la necesidad y la aplicación de las memorias control se estudia la secuencia de inversión exacta  $A^+ B^+ A^- B^-$  con los circuitos fluidicos propuestos. Y se considera las dos soluciones:

1. mínima
2. y óptima.

Como siempre, se inicia el estudio con en el diagrama espacio-fase y de mando pero, además, para este caso se añade un diagrama nuevo “el diagrama de comportamiento de las bobinas” a+ y b+. Este nuevo nomograma visualiza el estado de las posiciones inestables de los distribuidores y se utiliza para hacer una comparativa con las órdenes de mando.

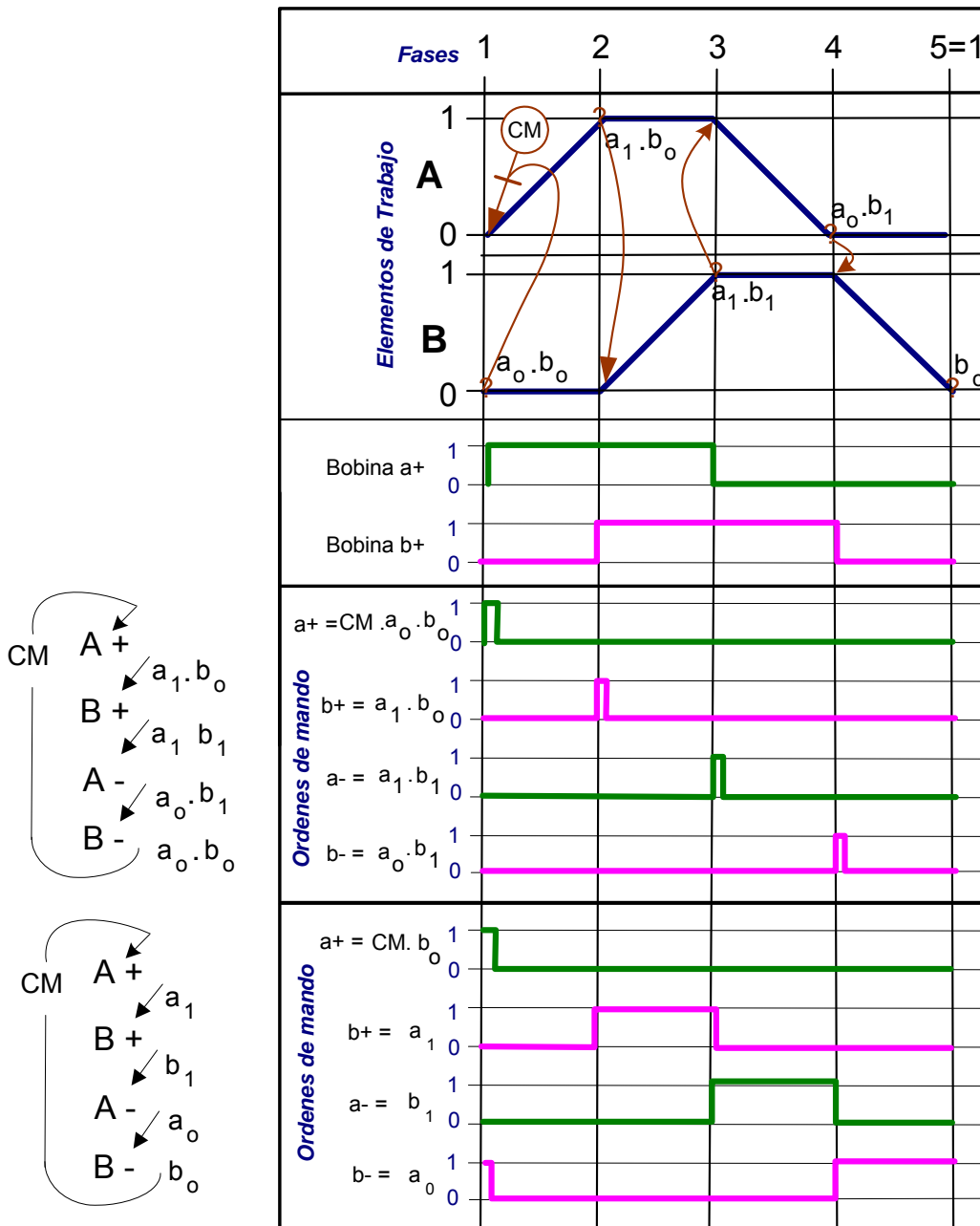


Figura 6.4.2.3.2.4.-Diagrama espacio-fase, de mando y de comportamiento de las bobinas de la secuencia A+ B+ A- B-

Como se observa, tanto en el caso óptimo como mínimo de señales, las órdenes de mando  $a+$  y  $b+$  tienen períodos menores que los tiempos de actuación de las bobinas  $a+$  y  $b+$ , que mantienen las posiciones de avance sobre los distribuidores de potencia. Para ello, se emplean memorias de control que mantenga el efecto de las órdenes de las posiciones inestables del distribuidor durante todo su tiempo de ejecución, para que el sistema funcione correctamente. En el caso de las órdenes de mando de los estados estables ( $a-$  y  $b-$ ) no existirá problema alguno, puesto que están asociadas a los accionamientos mecánicos de los distribuidores (muelles).

En esta Tesis, para discernir las ecuaciones de las órdenes de mando que usan las memorias de control (del tipo biestable RS) se emplean las letras “s” (“set”) y “r” (“reset”) con la letra en mayúsculas del actuador. Así, para el caso óptimo y mínimo son:

Tabla 6.4.2.3.2.1.- Órdenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control.

| Fase | Acción | Ecuación de las órdenes de mando  |                       |
|------|--------|-----------------------------------|-----------------------|
|      |        | Óptima                            | Mínima                |
| 1    | A+     | $sA = CM \bullet a_0 \bullet b_0$ | $sA = CM \bullet b_0$ |
| 2    | B+     | $sB = a_1 \bullet b_0$            | $sB = a_1$            |
| 3    | A-     | $rA = a_1 \bullet b_1$            | $rA = b_1$            |
| 4    | B-     | $rB = a_0 \bullet b_1$            | $rB = a_0$            |

Con esta forma de expresión del algoritmo, quedan detalladas: el número de memorias de control empleadas (en este caso dos biestables RS) y la definición de sus dos entradas respectivas en cada memoria.

Implementando la solución mínima de algoritmo de funcionamiento sobre un circuito hidráulico con electroválvulas 4/2 monoestables queda:

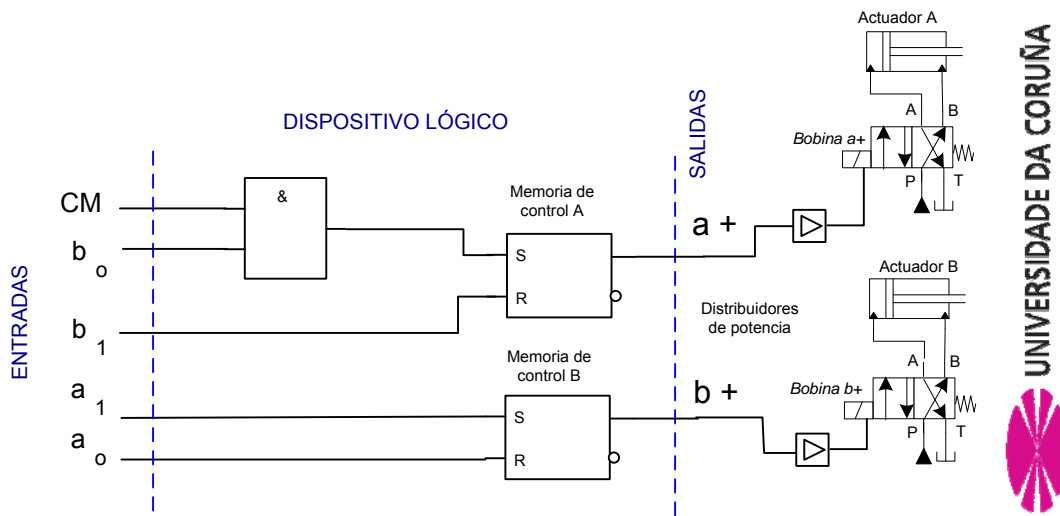


Figura 6.4.2.3.2.5.- Solución mínima de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control en un circuito oleohidráulico con electroválvulas monoestables 4/2.

Y la solución óptima, para un circuito neumático con electroválvulas 5/2 monoestable, es:

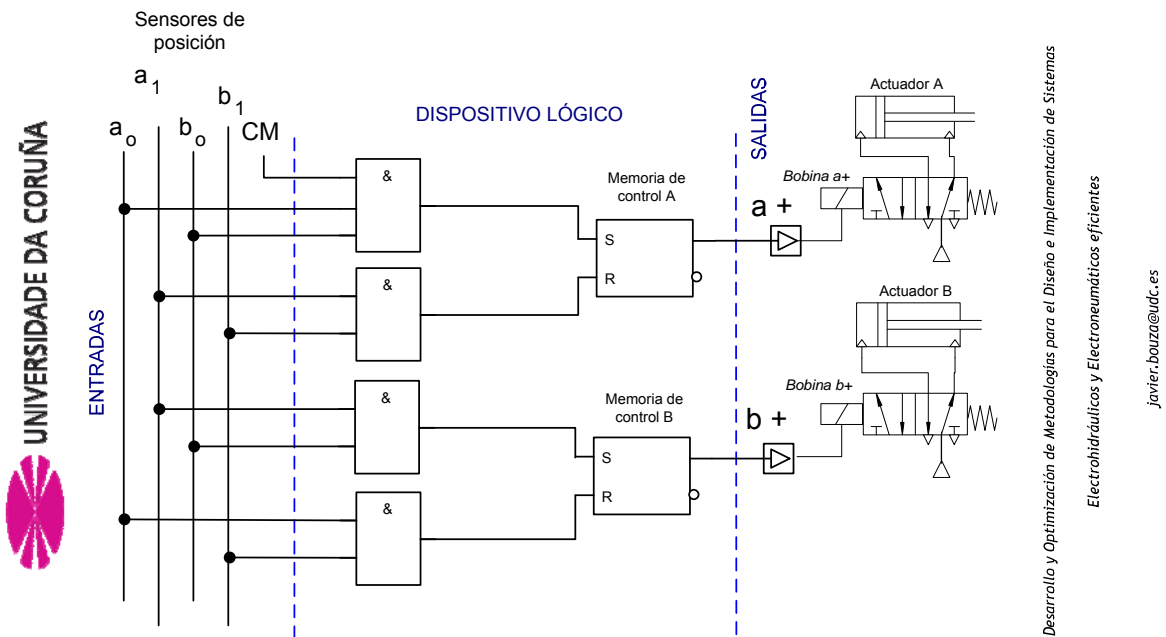


Figura 6.4.2.3.2.6.- Solución óptima de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control en un circuito neumático con electroválvulas monoestables 5/2.

También, es posible el uso de pulsos de señal en las entradas del biestable RS. Así, usando los flancos ascendentes de las órdenes de mando, se podrá

definir su algoritmo de funcionamiento de la siguiente forma: que cuando haya un flanco ascendente en la orden a+ se debe producir la activación de la bobina a+ del distribuidor A; y cuando existe un flanco ascendente en la orden a- se desactiva la bobina a+ y actúa el accionamiento mecánico del distribuidor y se sitúa en su posición estable. De manera análoga, ocurre con el distribuidor B: siendo los flancos ascendentes de las órdenes b+ y b- los que activen y desactiven, respectivamente, la bobina b+ (o estado inestable). Las soluciones son similares a las obtenidas anteriormente con la salvedad de que se emplean flancos ascendentes.

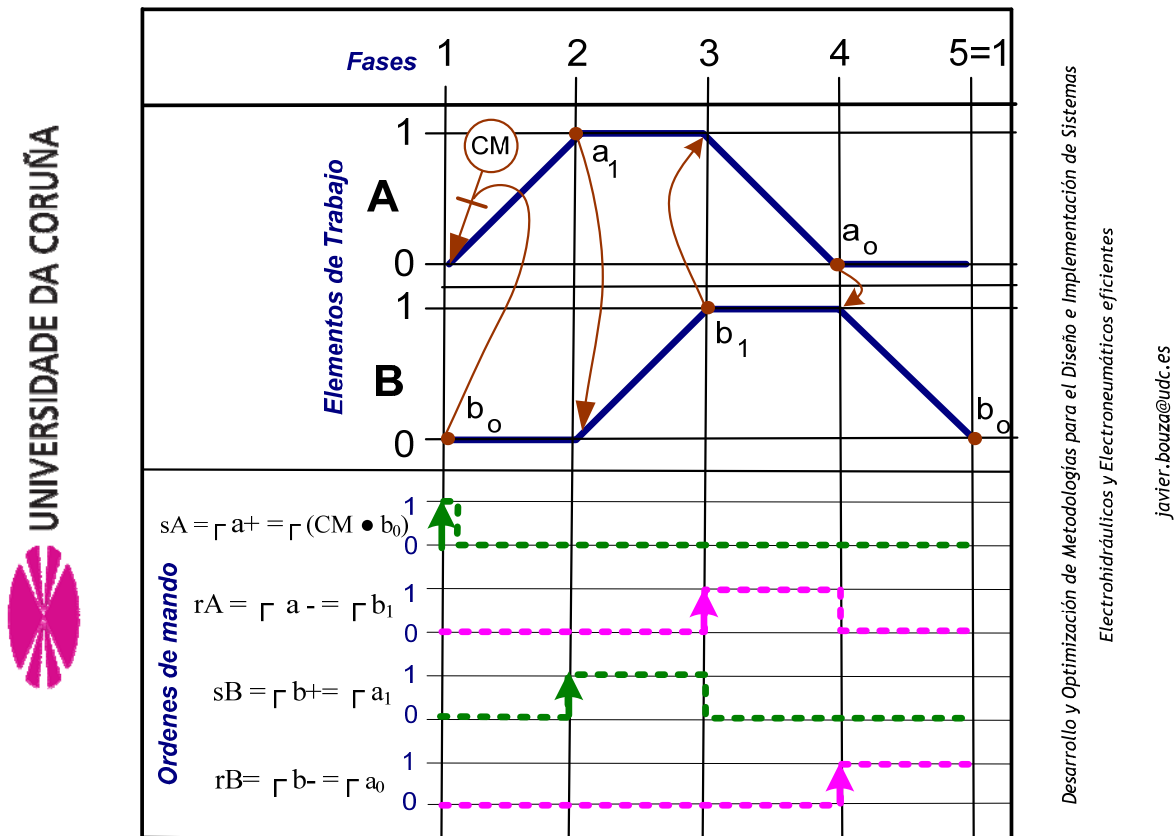


Figura 6.4.2.3.2.7.- Diagrama espacio-fase, de mando y de comportamiento de las bobinas de la secuencia A+ B+ A- B- caso mínimo con memorias de control y flancos de señal.

Para representar un flanco ascendente en la definición de las ecuaciones se usa el símbolo “  $\uparrow$  ”.

Tabla 6.4.2.3.2.- Órdenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con memorias de control y flancos de señal.

| Fase | Acción | Ecuación de las órdenes de mando         |                              |
|------|--------|--|------------------------------|
|      |        | Óptima                                   | Mínima                       |
| 1    | A+     | $sA = \neg (CM \bullet a_0 \bullet b_0)$ | $sA = \neg (CM \bullet b_0)$ |
| 2    | B+     | $sB = \neg (a_1 \bullet b_0)$            | $sB = \neg a_1$              |
| 3    | A-     | $rA = \neg (a_1 \bullet b_1)$            | $rA = \neg b_1$              |
| 4    | B-     | $rB = \neg (a_0 \bullet b_1)$            | $rB = \neg a_0$              |

6.4.2.3.3 Distribuidores de comportamiento biestable.

En los circuitos fluidicos de potencia son frecuente el uso de electroválvulas 4/2 o 5/2 biestables (estas últimas exclusivas de la neumática), ya sean de accionamiento directo o servopilotado. A continuación, se muestra dos posibles circuitos para implementar la secuencia de inversión exacta A+B+A-B- : un circuito hidráulico con electroválvulas biestables 4/2 de accionamiento directo y un circuito neumático con electroválvulas biestables servopilotadas 5/2.

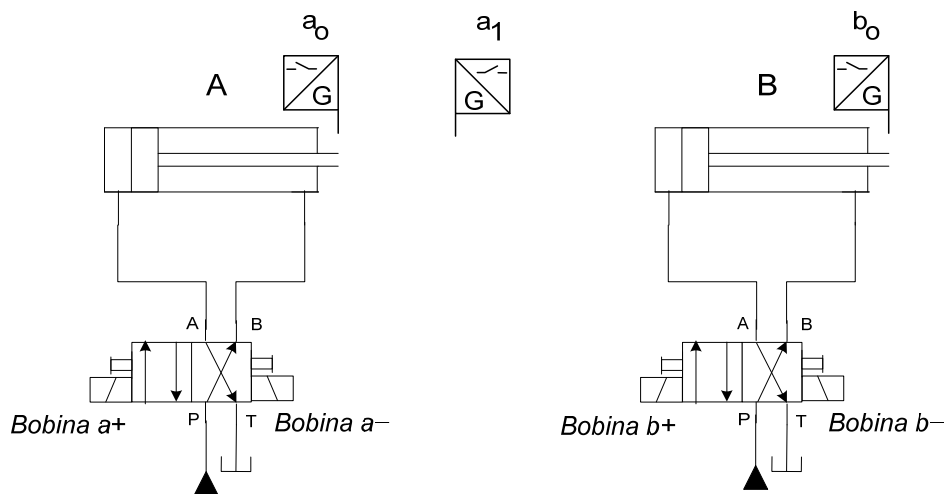


Figura 6.4.2.3.3.1.- Configuración con electroválvulas biestables 4/2 de la secuencia A+ B+ A- B-

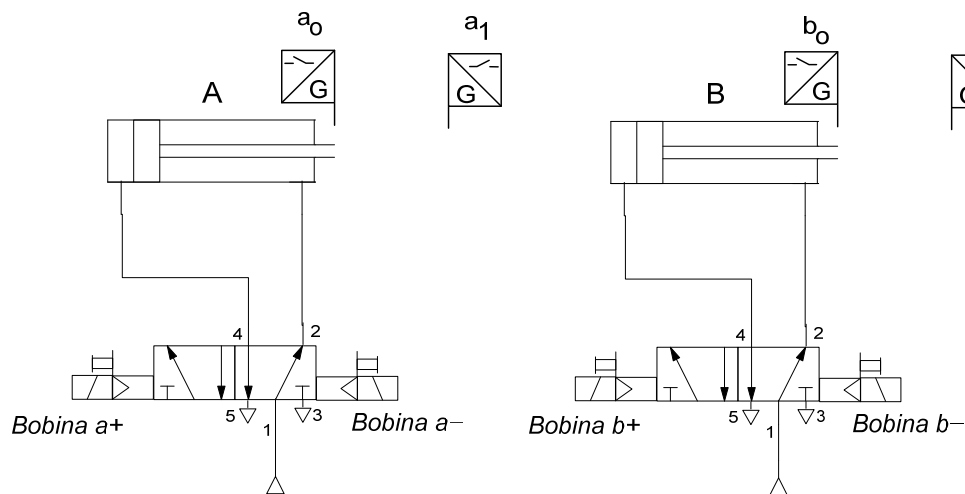


Figura 6.4.2.3.3.2.- Configuración con electroválvulas biestables 5/2 de la secuencia A+ B+ A- B-

Como se ha indicado, en el capítulo V, los distribuidores de potencia de tipología biestable memorizan sus dos posiciones mediante sendos pulsos de señal a sus accionamientos electromagnéticos. Y por tanto, no es necesario mantener la señal de tensión en los accionamientos durante todo su período de ejecución. Basta un único pulso de señal para activar una posición y otro pulso de señal, en el accionamiento antagónico, para cambiar al otro estado. Siempre perdura un estado “el último donde se ha recibido señal” y, como consecuencia, el distribuidor no dispone de estado natural de reposo. De todo ello, se infiere que:

1. *El uso de electroválvulas de tipología biestable, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, no exige al subsistema de control mantener la tensión de mando sobre el accionamiento electromagnético para mantener la posición, bastará con un único pulso de la señal de mando.*
2. *El uso de electroválvulas de tipología biestable, en los sistemas oleoneumáticos que no presentan problemas de señales permanentes, implica que la activación de una posición supone la desactivación de la otra. Y por tanto, las electroválvulas biestables no disponen de un estado natural de reposo y tomarán como posición de partida la que defina el sistema en su situación de reposo.*



Estas dos proposiciones generan, sobre las soluciones anteriormente estudiadas, dos posibles variantes:

- i. soluciones sin empleo de memoria de control.
- ii. soluciones con empleo de memorias de control

6.4.2.3.3.1 Soluciones sin empleo de memorias de control

Las ecuaciones se generan directamente con las variables de entrada y bastará con que se cumplan una sola vez para que la acción quede memorizada indefinidamente, por el distribuidor de tipología biestable, hasta recibir orden opuesta. Los algoritmos de mando son similares al empleo de distribuidores de tipología monoestable con la salvedad de que no son necesarias las memorias de control biestable RS. Así, para las soluciones mínima y óptima son las que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 6.4.2.3.3.1. - Órdenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestable y sin memorias de control.

| Fase | Acción | Ecuación de las órdenes de mando |                      |
|------|--------|----------------------------------|----------------------|
|      |        | Óptima                           | Mínima               |
| 1    | A+     | $a+= CM \bullet a_0 \bullet b_0$ | $a+= CM \bullet b_0$ |
| 2    | B+     | $b+ = a_1 \bullet b_0$           | $b+ = a_1$           |
| 3    | A-     | $a-= a_1 \bullet b_1$            | $a- = b_1$           |
| 4    | B-     | $b- = a_0 \bullet b_1$           | $b-= a_0$            |

También, al igual que en el caso monoestable, sería factible usar flancos ascendentes de las variables de entrada para definir el algoritmo.

Tabla 6.4.2.3.3.2. - Ordenes de mando de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestable sin memorias de control y con flancos de señal.

| Fase | Acción | Ecuación de las órdenes de mando       |                            |
|------|--------|--|----------------------------|
|      |        | Óptima                                 | Mínima                     |
| 1    | A+     | $a+= \neg(CM \bullet a_0 \bullet b_0)$ | $a+= \neg(CM \bullet b_0)$ |
| 2    | B+     | $b+ = \neg(a_1 \bullet b_0)$           | $b+ = \neg a_1$            |
| 3    | A-     | $a-= \neg(a_1 \bullet b_1)$            | $a- = \neg b_1$            |
| 4    | B-     | $b- = \neg(a_0 \bullet b_1)$           | $b-= \neg a_0$             |

Estas ecuaciones se pueden codificar a lenguaje FBD (“Function block diagram” según IEC 1131-3) que permite implementar el algoritmo en diversos controladores programables. Así, obtenemos dos programas:

1) con el mínimo número de señales:

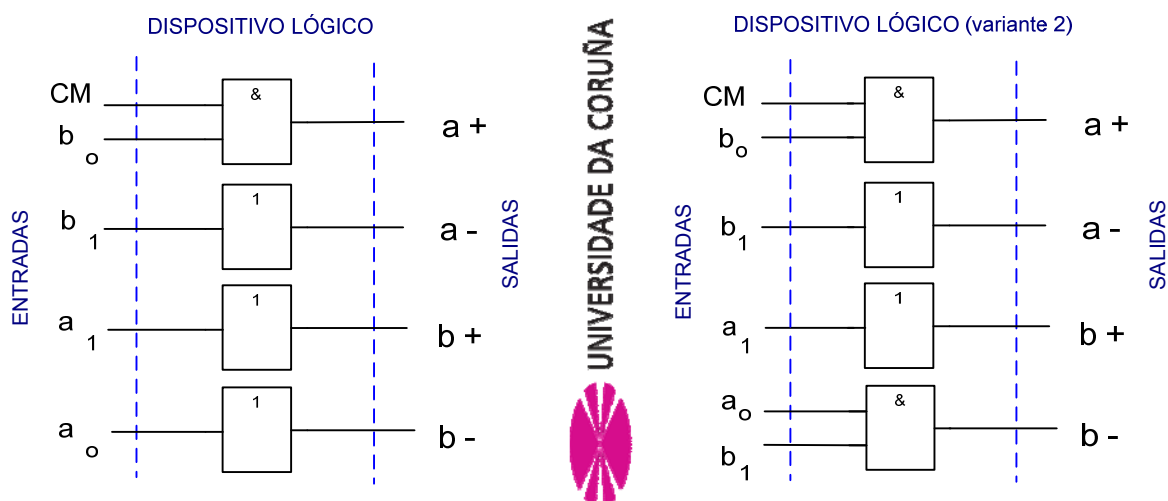


Figura 6.4.2.3.3.3.- FBD de la solución mínima del algoritmo de funcionamiento de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestables y sin memorias de control.

2) con el óptimo número de señales:

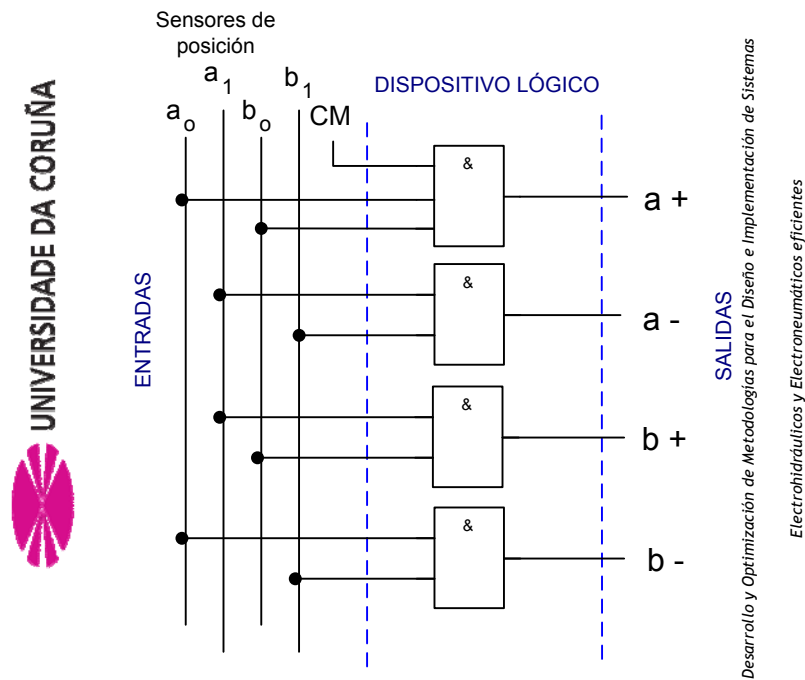


Figura 6.4.2.3.3.4.- FBD de la solución óptima del algoritmo de funcionamiento de la secuencia A+ B+ A- B- con electroválvulas biestables y sin memorias de control.

Para estas dos soluciones, con distribuidores de tipología biestable y sin memorias de control, se encuentra que:

- i. Para el caso de mínimo número de señales, “solución mínima”:
  - a. se detecta simultaneidad de órdenes de mando en distribuidores diferentes: hay un breve instante en el final del avance de B y el inicio de la recogida de actuador A en el que existen dos solenoides simultáneamente activas, bobinas b+ y a-; y otro instante en el final del retroceso de A y el inicio de la recogida de B, en este caso, son las bobinas a- y b- las afectadas.
  - b. La solenoide b- quedará indefinidamente conectada una vez finalizado el ciclo hasta que se inicia de nuevo el mismo. (este perjudicial detalle se resuelve en la variante 2).

Tales hechos, no provocan el “mal funcionamiento” de las electroválvulas pero si aumenta los tiempos de respuesta, el consumo y la fatiga de los elementos eléctricos.

- ii. Para el caso óptimo número de señales, “solución óptima”:
  - a. No existen los problemas del caso anterior: se eliminan las señales sin efecto y la activación indefinida de la bobina b - una vez finalizado el ciclo.
  - b. Existe una mayor seguridad en el sistema, por estar compuesta sus órdenes de mando de un mayor número de entradas.

De todo esto, se concluye:

*La solución óptima, respecto a la solución mínima, en el Método combinacional I sin empleo de memorias de control y sobre distribuidores de tipología biestable, minimiza el consumo de los distribuidores y aumenta la seguridad del sistema.*

#### *6.4.2.3.3.2 Soluciones con empleo de memorias de control*

En las electroválvulas biestables, como se ha indicado, sus posiciones quedan memorizadas mecánicamente en el propio distribuidor. Y el subsistema de control no tiene acceso a esta memoria. Por tanto, el subsistema de control necesita un registro del estado de los distribuidores biestables. Esto le permitirá dilucidar si su situación de salida y la del sistema son la correcta en caso de anomalía o fallo. Y esto, se consigue utilizando memorias de control del tipo biestable RS asíncrono que memoricen las órdenes y los efectos del distribuidor biestable. Por tanto:

*El uso de memorias de control, biestables RS asíncronas, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos permite memorizar las órdenes de mando y sus efectos. E infiere al sistema la capacidad de disponer de información que identifique y valore la situación real del sistema en todo momento y, especialmente, en las situaciones de fallo o avería.*

Para las soluciones, con distribuidores de potencia de tipología biestable, se han estudiado dos posibilidades en cuanto al número de memorias de control necesarias por distribuidor:

1. Emplear una única memoria de control. Esta opción se descarta por no ser eficiente en las pretensiones del objetivo del método. A continuación, se explica tal hecho.
2. Emplear sendas memorias de control para cada estado activo del distribuidor. Esta es la opción escogida y empleada.

La primera posibilidad estudiada es utilizar la salida Q del biestable RS asíncrono y su negación para controlar sendos accionamientos electromagnéticos del distribuidor de potencia. De esta forma, cuando  $q_n = 1$  ó  $\bar{q}_n = 0$  activará un accionamiento electromagnético y desactivará el otro, y cuando  $q_n = 0$  ó  $\bar{q}_n = 1$  hará lo opuesto. Hasta aquí todo correcto, pero el inconveniente de emplear una única memoria por cada distribuidor se encuentra en que siempre habrá un accionamiento electromagnético activado aunque el sistema este en posición de reposo. Para visualizar esto, se implementa una de las soluciones: por ejemplo, la óptima con electroválvulas 4/2 biestables.

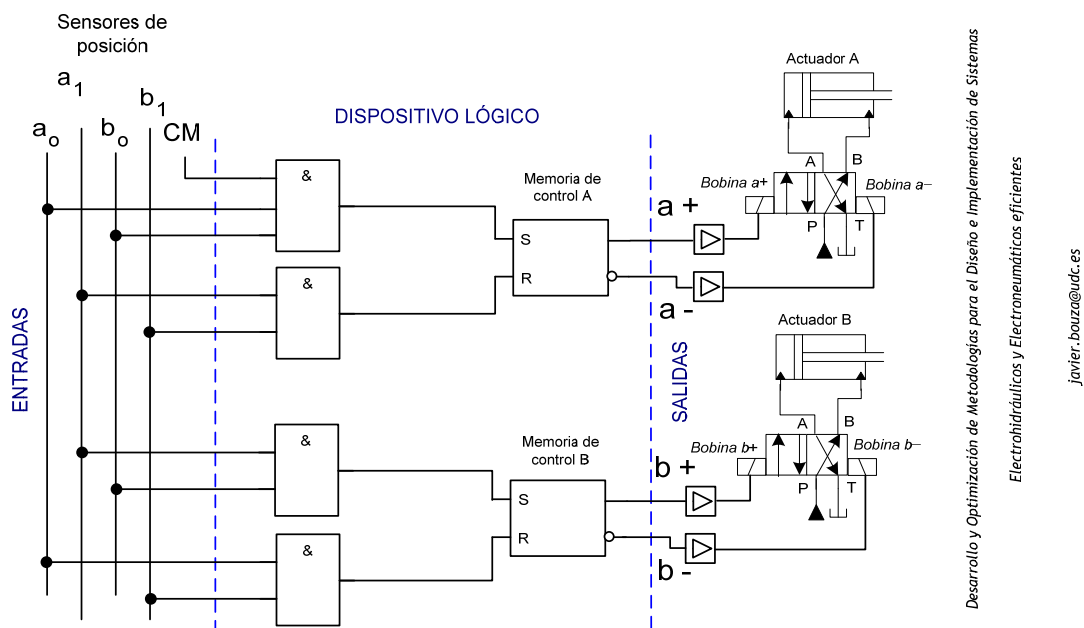


Figura 6.4.2.3.3.5.- Solución óptima de la secuencia A+ B+ A- B- en un circuito neumático con electroválvulas biestables 4/2 y criterio de una única memoria de control.

La secuencia se realiza correctamente pero, al finalizar esta, se observa que las bobinas de retroceso de sendos distribuidores quedan indefinidamente alimentadas hasta repetir otro ciclo. Esto, lógicamente, no es apropiado en el diseño eficiente que se pretende.

Por ello, se propone emplear un biestable RS para cada uno de los accionamientos del distribuidor de potencia de tipología biestable, con la siguiente estructura cruzada:

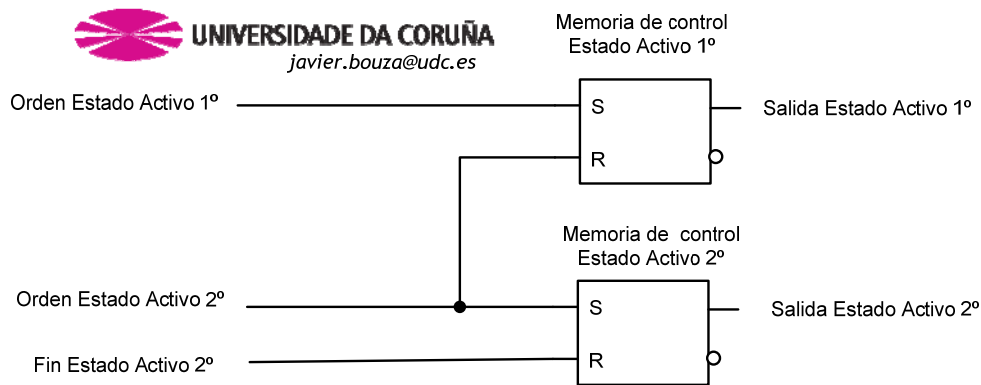


Figura 6.4.2.3.3.6.- Dos memorias de control con estructura cruzada.

Donde:

*Estado activo 1º* = es aquella posición del distribuidor biestable que acontece primero en el orden de la secuencia.

*Estado activo 2º* = es la otra posición diferente (que acontece segundo en el orden de la secuencia).

*Fin Estado activo 2º* = es la condición que verifica la finalización correcta de la acción del Estado activo 2º.

*Salida Estado Activo 1º* = activa la Acción del Estado activo 1º

*Salida Estado Activo 2º* = activa la Acción del Estado activo 2º

Con estos dos biestables RS con estructura cruzada para cada distribuidor, se consigue:

- i. que la última orden de activación de una posición del distribuidor desordene la otra posición. Esto genera una seguridad implícita e imposibilita la presencia de señales permanentes en un mismo distribuidor.
- ii. que cuando termine la acción de última posición activada, en la secuencia, su bobina de accionamiento se desconecte.

Por todo ello:

*El Procedimiento predefinido de las memorias de control en el Método combinacional I, para los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, requiere de dos memorias biestables RS asíncronas con estructura cruzada para cada distribuidor de tipología biestable.*

A continuación, se presentan las dos posibles soluciones para la secuencia de inversión exacta objeto de estudio.

1) *Solución mínima:* Implementando la solución sobre un circuito neumático con electroválvulas 5/2 biestables servopilotadas.

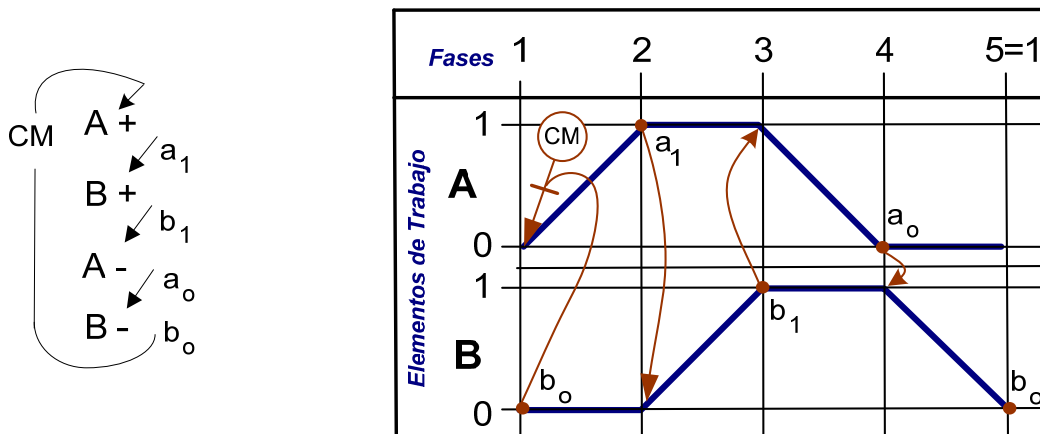


Figura 6.4.2.3.3.7.- Representación de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- solución mínima.

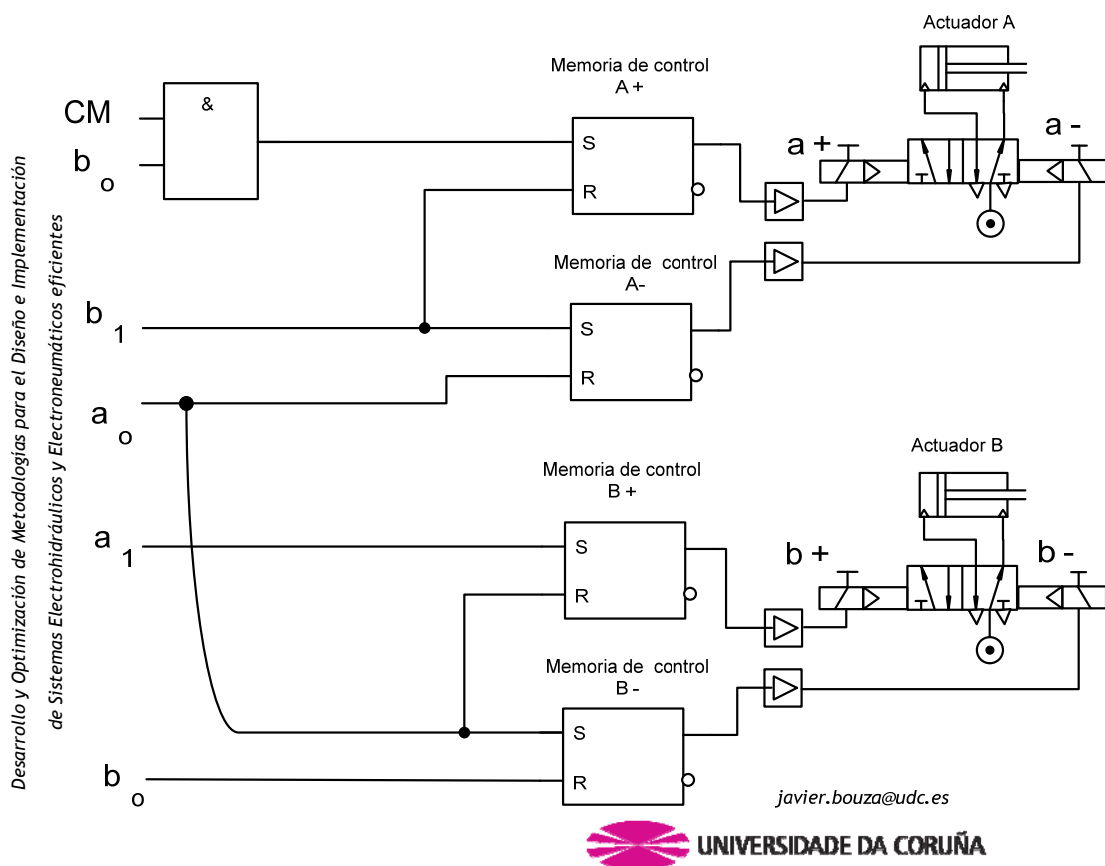
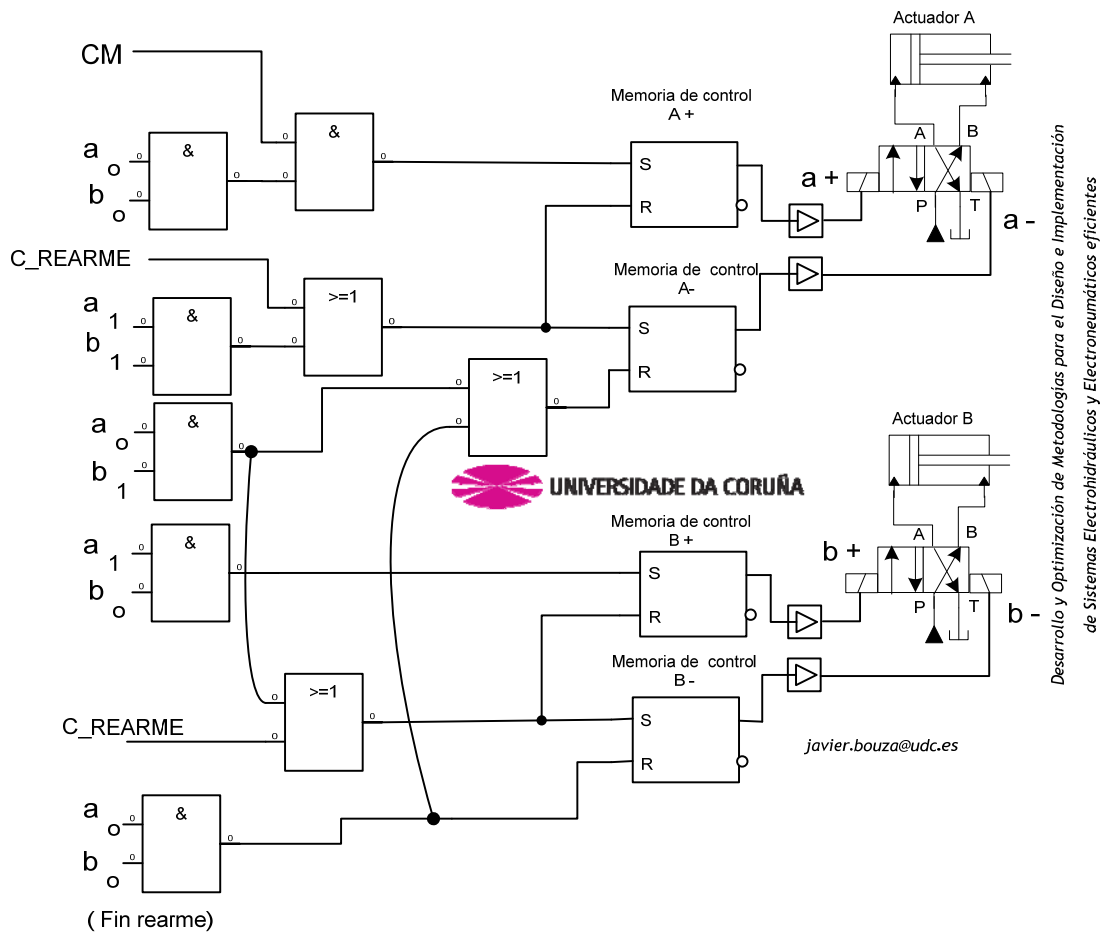


Figura 6.4.2.3.3.8.- Solución mínima de la secuencia A+ B+ A- B- en un circuito neumático con electroválvulas biestables 5/2 y con empleo de las memorias de control.

Aunque se tratará a fondo en el segundo bloque de la síntesis, indicar que cuando se realice una acción de rearme: se resetean las memorias de control de avance, A+ y B+, y se activan simultáneamente las de retroceso, A- y B-, lo que provocará la recogida de los actuadores. A su finalización, será necesario resetear las memorias de control de retroceso. En este caso, cuando los cilindros se rearman, se sitúa en la posición de reposo, lo que resetea dichas memorias de control. A continuación, en la solución óptima, se muestra tal hecho.



2) *Solución óptima*: Implementando la solución sobre un circuito hidráulico con electroválvulas 4/2 biestables.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

Figura 6.4.2.3.9.- Solución óptima de la secuencia A+ B+ A- B- en un circuito hidráulico con electroválvulas biestables 4/2 y con empleo de las memorias de control.

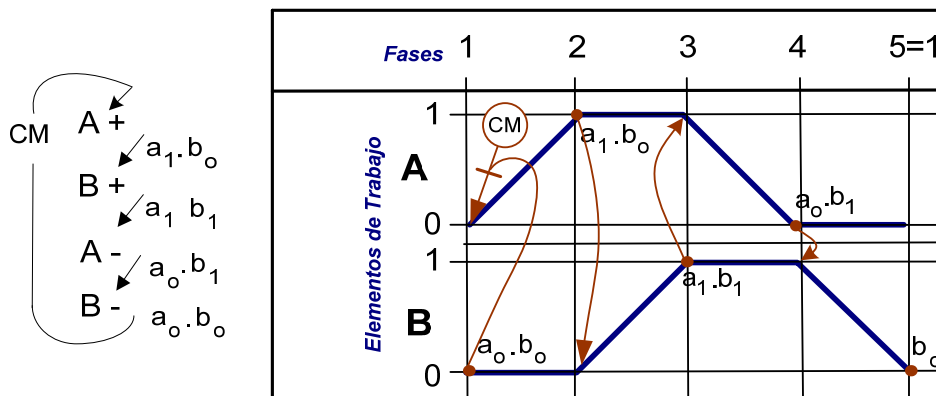


Figura 6.4.2.3.3.10.- Representación de la secuencia de inversión exacta A+ B+ A- B- solución óptima.

6.4.3 Resumen del Método Combinacional I

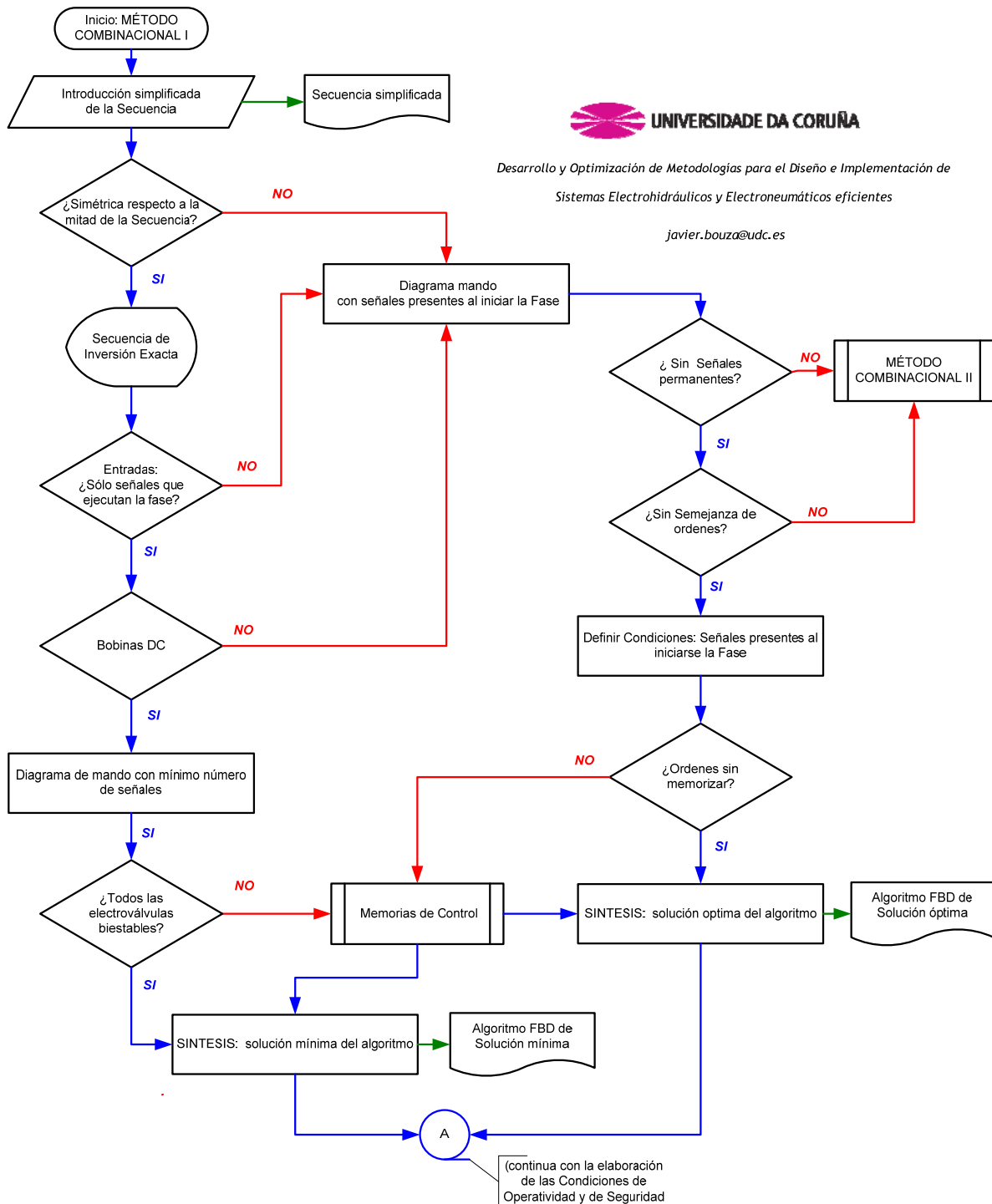


Figura 6.4.3.1.- Flujoograma del Método Combinacional I

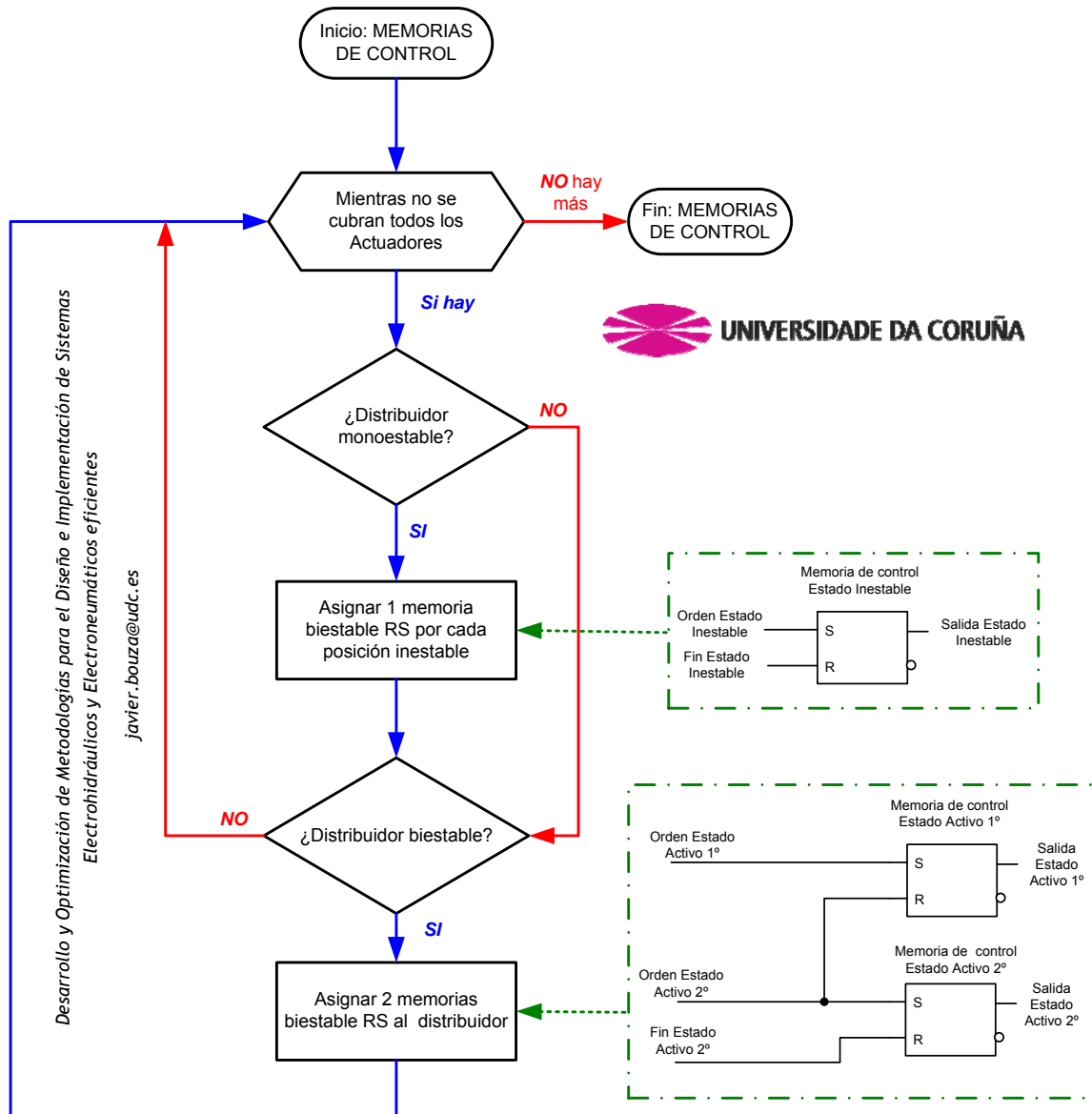


Figura 6.4.3.2.- Flujograma del Procedimiento predefinido de las Memorias de Control.

## 6.5 Método combinacional II

### 6.5.1 Introducción

En los apartados anteriores, se han estudiado las problemáticas y aspectos relevantes del diseño combinacional del mando programable binario de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos mediante órdenes definidas a partir de captadores de información y de las condiciones establecidas por el Operador. Y fruto de este estudio, se desarrolla el Método combinacional I para diseñar el mando de los sistemas que no presentan problemas de señales permanentes ni semejanza de órdenes. A continuación, se investiga en un segundo método combinacional para cualquier tipo de secuencia y que se denomina "Método combinacional II". Este método se fundamenta en las órdenes de mando elaboradas mediante las entradas que están presentes al iniciarse cada fase de la secuencia, tanto de los captadores de información como del operador, y en el empleo auxiliar de memorias lógicas del tipo biestable RS. Esto permitirá, como se demostrará, resolver tanto las problemáticas de señales permanentes como de semejanzas de órdenes que puedan presentar la secuencia, así como aumentar la fiabilidad y la seguridad del diseño al memorizar las órdenes de mando.

Con objeto de analizar las posibilidades y limitaciones del Método combinacional II, se estudia su aplicación a cuatro secuencias que reflejan las dificultades y complejidades que pueden acaecer en esta solución. Además, del estudio de estos cuatro casos se infiere un conjunto de conclusiones, generalizables, en lo referente al uso y el desarrollo de este método como solución combinacional para el mando programable de los sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos industriales.

6.5.2 Estudio del Método Combinacional II - caso I

Para este primer caso, se ha optado por una secuencia de tres actuadores que practican un ciclo completo cada uno en una sucesión ordenada. El motivo de escoger esta secuencia es que plantea las problemáticas anteriormente vistas y, que conjuntamente con los tres casos posteriores, ejemplariza de manera adecuada y completa la aplicación del método.

En este caso, se dispone de tres actuadores A, B y C, que practican en serie un ciclo completo cada uno. Se emplea un par de sensores de posición (para mínima y máxima carrera) para sendos actuadores. Esto permitirá, por un lado, implementar la secuencia completa mediante la solución apropiada y, por otro, vigilar el correcto funcionamiento del sistema. Se inicia el estudio con el desarrollo del diagrama desplazamiento-fase para la opción mínima de órdenes de mando. Al igual que los métodos anteriormente expuestos, se desarrolla el primer bloque de la Síntesis del algoritmo de funcionamiento con una condición de marcha genérica "CM" que posteriormente, y en el segundo bloque de la Síntesis, se desarrollará de manera explícita.

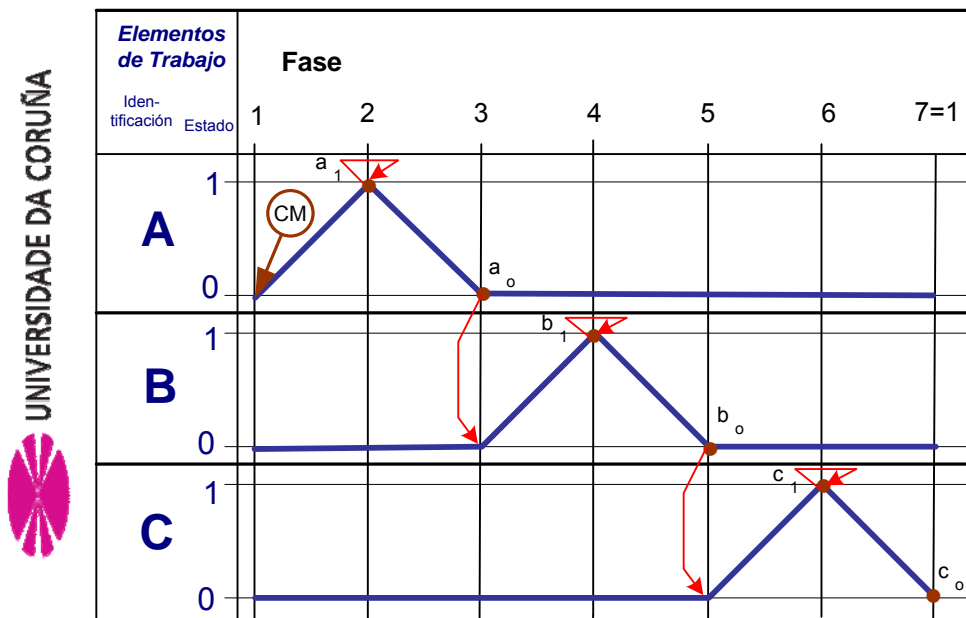


Figura 6.5.2.1.-Diagrama espacio-fase de la secuencia A+ A- B+ B- C+ C-



El ciclo de la secuencia es: accionado la condición de marcha, CM, se inicia la primera etapa y el actuador A avanza hasta alcanzar la posición de máxima carrera. En la segunda etapa, retrocede A hasta posicionarse en mínima carrera. En la tercera etapa, el actuador B avanza hasta la posición de máxima carrera y, en la fase cuatro, recoge. En las fases cinco y seis se repite el mismo ciclo para el actuador C. Y por último, el ciclo se reiniciará en la séptima fase si esta activada la condición de marcha.

A continuación, se ha añadido al diagrama desplazamiento-fase el diagrama de mando con mínimo número de señales, lo que permitirá mostrar los posibles puntos de conflicto.

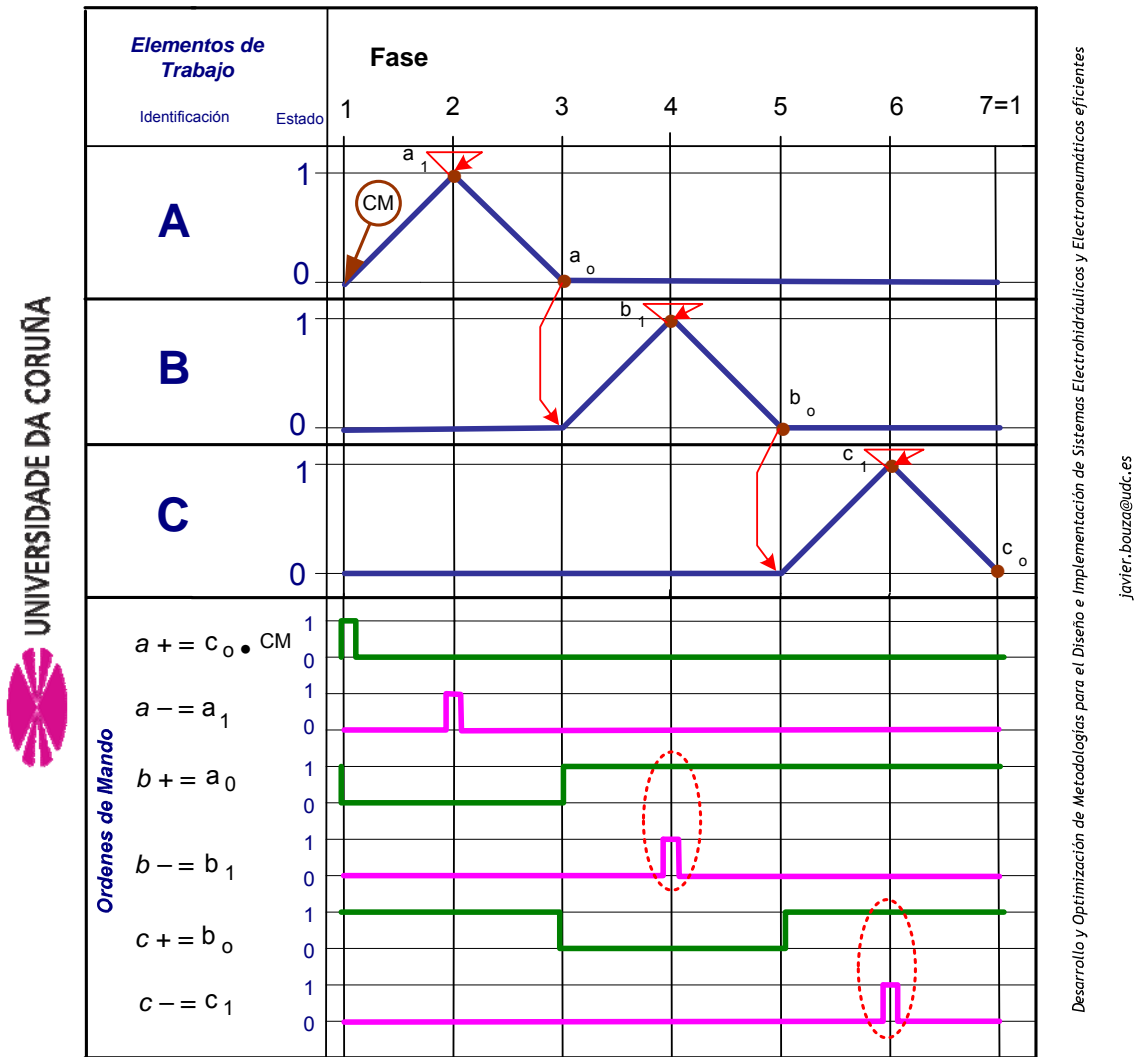


Figura 6.5.2.2.-Diagrama de mando sec. A+ A- B+ B- C+ C- opción mínima.

De este diagrama, se observa que en los distribuidores B y C habrá problemática de señales permanentes. Y que en el distribuidor A ocurrirá el mismo problema de no considerar una condición de marcha que no generase un pulso (por ejemplo, si la condición de marcha fuese un interruptor de “marcha y ciclo continuo” la señal  $a+$  duraría las cuatro primeras etapas). Con objeto de eliminar las señales permanentes, se amplían las condiciones de entrada (como se demostró anteriormente): por tanto, para cada orden, no sólo se considera las entradas que confirman la ejecución de cada fase, sino también aquellas que están presentes al iniciarse la fase. Partiendo de este criterio, se desarrolla el nuevo diagrama de mando.

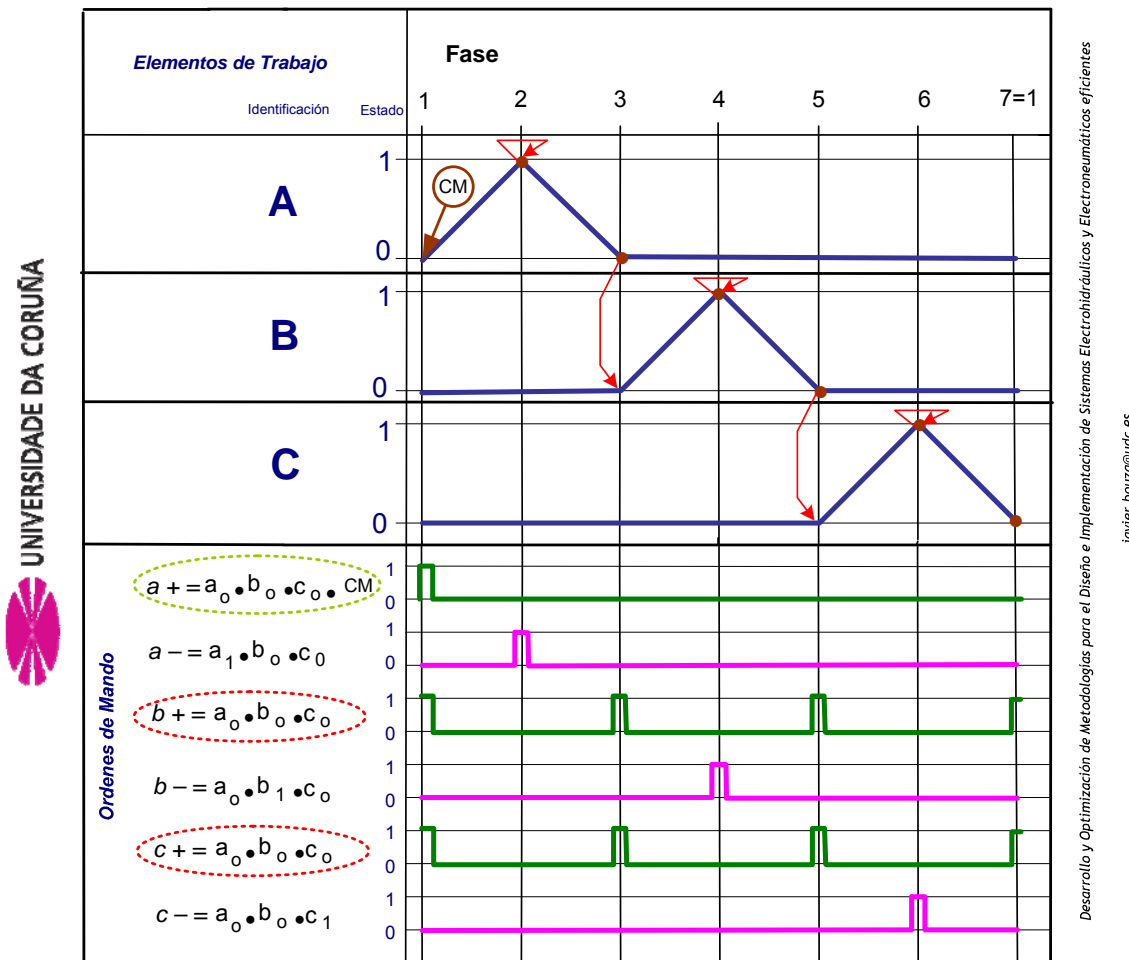


Figura 6.5.2.3.-Diagrama de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- opción óptima.

De este diagrama de mando con las señales presentes al inicio de fase, se concluye: la inexistencia del problema de señales permanentes pero, si se

detecta un problema de semejanza de órdenes en las fases uno, tres y cinco. Si bien, la CM (“condición de marcha”) podrá servir para discernir la fase uno de las otras dos y, en este caso, las órdenes semejantes serán dos. Esta consideración podrá provocar problemas. Así, por ejemplo, si la implementación física del sistema no se realiza correctamente: podrá acontecer que la condición de marcha fuese posterior o se retrase con respecto a las señales de los sensores de posición de mínima carrera en la combinación de la función lógica Y. Esto ocasionará:

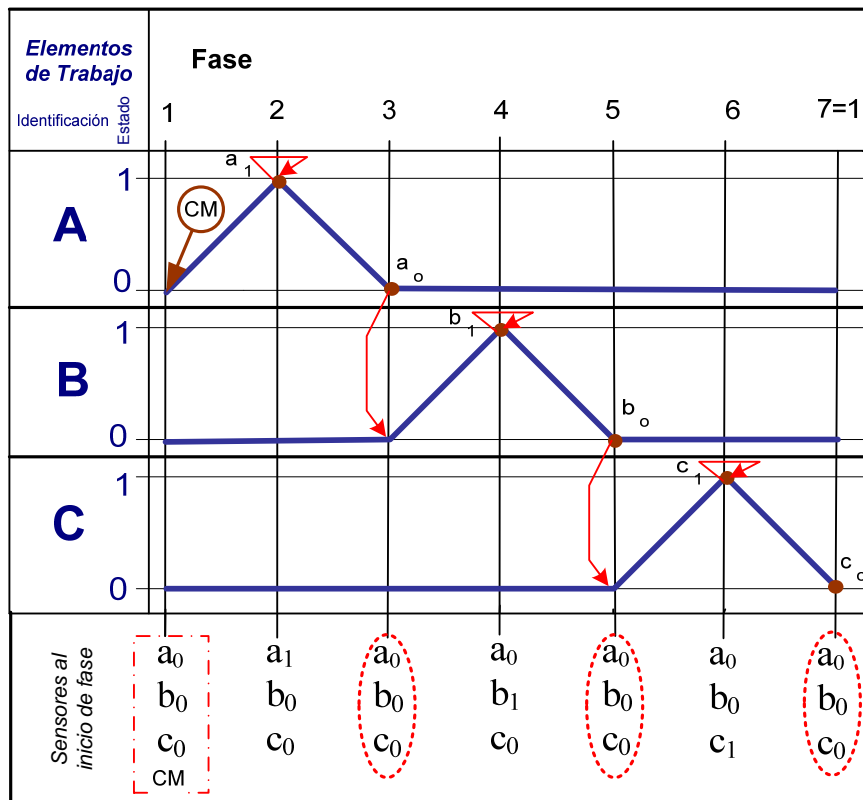
- i. que en el comienzo de ciclo, el sistema programable generará las órdenes de mando tres y/o cinco, dependiendo de si ha resuelto la semejanza de éstas o no, respectivamente;
- ii. o que ya iniciado el ciclo, el Operador active por error la CM cuando suceden las órdenes tres o cinco y, como resultado, se produzca el avance del actuador A y se quebrante la secuencia.

De todo lo anterior y de la experimentación en el Laboratorio con distintas y diferentes secuencias, se obtiene que:

*Toda solución combinatorial de control, para los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, que utilice captadores para verificar sus acciones y cuya definición de las órdenes de mando se sustente en todas las entradas que están presentes al iniciarse cada fase no presentará problema de señales permanentes.*

Una vez garantizada la eliminación de las señales permanentes, se trata de resolver la semejanza de órdenes. Para esta labor, se emplea el “Diagrama simplificado de mando”. Este, es un diagrama desplazamiento-fase abreviado que incluye la indicación de los sensores presentes al inicio de cada fase. Esta variante de diagrama permite visionar de manera detallada y rápida no sólo la secuencia sino las problemáticas a resolver. A continuación y como ejemplo de los pasos a seguir en el Método combinatorial II, se expone el mismo y su interpretación para la secuencia estudio.





Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.5.2.4.-Diagrama simplificado de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- opción óptima.

Así, partiendo del estado inicial, los tres actuadores están recogidos y los sensores de posición  $a_0$ ,  $b_0$  y  $c_0$  estarán activados y suministrarán un valor igual a uno (esta circunstancia, es la identificativa de la condición inicial). A continuación, se activa la condición de marcha, fase 1, el actuador de trabajo A avanzará y el sensor  $a_0$  dejará de estar activado. Cuando el cilindro A está próximo a la máxima carrera se activará el sensor  $a_1$  y, entonces, suministrará un valor igual a uno. En la fase 2, el cilindro A recogerá y  $a_1$  se desactivará y tomará el valor cero y, más tarde, cuando éste próximo a la mínima carrera,  $a_0$  se activará de nuevo y tomará el valor uno. De manera análoga, pasará en las fases 3 y 4 para el actuador B pero con los finales de carrera  $b_0$  y  $b_1$  y en las fases 5 y 6 con los sensores  $c_0$  y  $c_1$  para el actuador C. Si, ahora, se pretende obtener la secuencia expuesta mediante la determinación de las ecuaciones lógicas booleanas, únicamente, con las señales producidas por los sensores de posición, entonces, el resultado será inviable. Así, si se analiza el diagrama desplazamiento-fase simplificado, se obtiene que para que el cilindro A avance (fase 1), los sensores de posición de mínima carrera  $a_0$ ,  $b_0$  y  $c_0$  conjuntamente

con la condición de marcha, CM, deberán estar activados simultáneamente. Esta situación puede detectarse empleando un circuito lógico Y, lo cual se traduce en la ecuación lógica, “ $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet CM = 1$ ”. Para que se concluya la fase 1 y se inicie la 2 deberá estar activado el sensor de máxima carrera  $a_1$  y los de mínima carrera  $b_0$  y  $c_0$  y, por tanto, la ecuación lógica necesaria será “ $a_1 \bullet b_0 \bullet c_0 = 1$ ”. Realizando una tabla de valores de todas las señales presentes al inicio de cada una de las fases de la secuencia, se obtiene:

Tabla 6.5.2.1.-Ordenes de mando secuencia A+ A+ B+- B- C+ C- opción óptima.

| <i>Fase</i>  | $a_0$ | $a_1$ | $b_0$ | $b_1$ | $c_0$ | $c_1$ | <i>ecuación</i>                              | <i>Acción</i>              |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|----------------------------|
| <b>1</b>     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet CM = 1$ | A +                        |
| <b>2</b>     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | $a_1 \bullet b_0 \bullet c_0 = 1$            | A -                        |
| <b>3</b>     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 = 1$            | B +                        |
| <b>4</b>     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | $a_0 \bullet b_1 \bullet c_0 = 1$            | B -                        |
| <b>5</b>     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 = 1$            | C +                        |
| <b>6</b>     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_1 = 1$            | C -                        |
| <b>7 = 1</b> | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 = 1$            | Condición final e inicial. |

Del análisis del diagrama simplificado de mando y de la tabla de verdad:

- Por un lado, se corrobora la inexistencia de señales permanentes al contrastar las dos acciones de cada actuador con sus respectivas ecuaciones de mando. Algo que verifica el hecho de que al definir como condiciones de entrada, en el mando programable, las señales presentes al iniciarse la fase se elimina cualquier posibilidad de señales permanentes.
- Por otro lado y en cuanto a la problemática de la semejanza de órdenes: las fases tercera, quinta y séptima o primera (condición de reposo o inicial), como salta a la vista son idénticas en el estado de sus variables activas y, lógicamente, en sus ecuaciones. Por tanto, se verifica que

usando únicamente las señales producidas por los sensores presentes al iniciarse cada fase no se podrá implementar un algoritmo de control que ejecute la secuencia correctamente.

Con el fin de solventar la semejanza de órdenes en este Método Combinacional II, se introduce el uso de memorias lógicas como elementos auxiliares para la resolución del problema. Al igual que se utilizó, en el Método Combinacional I, las memorias empleadas son del tipo biestable RS asíncrono. En este segundo método, estas memorias se usan:

- i. Por un lado, para diferenciar las ecuaciones lógicas booleanas semejantes de la secuencia. Así, las salidas de las memorias se combinarán con los sensores de posición presentes al inicio de fase con objeto de discernir las órdenes semejantes.
- ii. Y por otro, para memorizar las órdenes de mando y su acción. Este uso es similar al aplicado en el Método combinacional I.

A continuación, se investiga sobre el uso de las memorias para resolver la semejanza en la secuencia estudio. Primeramente, se entiende que las señales adicionales que aportan las memorias auxiliares deben permitir diferenciar las ecuaciones de las fases tercera, quinta y séptima (o primera sin condición de marcha). Y se considera que la señal de activación o desactivación de la memoria auxiliar en cualquier etapa de la secuencia es anterior a la orden de mando de esa etapa. Así, por ejemplo, se añade una primera memoria, que se identifica por la variable "x", y que está activada desde las fases segunda hasta la quinta inclusive<sup>37</sup>. Y su combinación mediante un "circuito lógico Y" con los sensores de posición presentes al iniciar dichas fases permitirá distinguir la ecuación inicial o de reposo (1=7) de las ecuaciones de las fases tercera y quinta de la secuencia. Como, obviamente, con una memoria auxiliar de dos estados (biestable RS ) se puede diferenciar como máximo dos ecuaciones

---

<sup>37</sup> Con respecto a las órdenes de mando 2 y 6: las señales de activación y desactivación de la memoria "x", en esas etapas, se producen antes que dichas órdenes.

lógicas iguales<sup>38</sup> será preciso de una segunda memoria auxiliar, que permita singularizar las tres ecuaciones lógicas iguales. Esta segunda memoria se denomina “y”, y se tiene activada (es decir  $y=1$ ) desde la fase cuarta hasta sexta inclusive<sup>39</sup>, lo que permitirá discernir la quinta fase de la tercera y la primera. A continuación, se redacta de nuevo la tabla de valores ampliando, con dos columnas, las memorias auxiliares “x” e “y”.

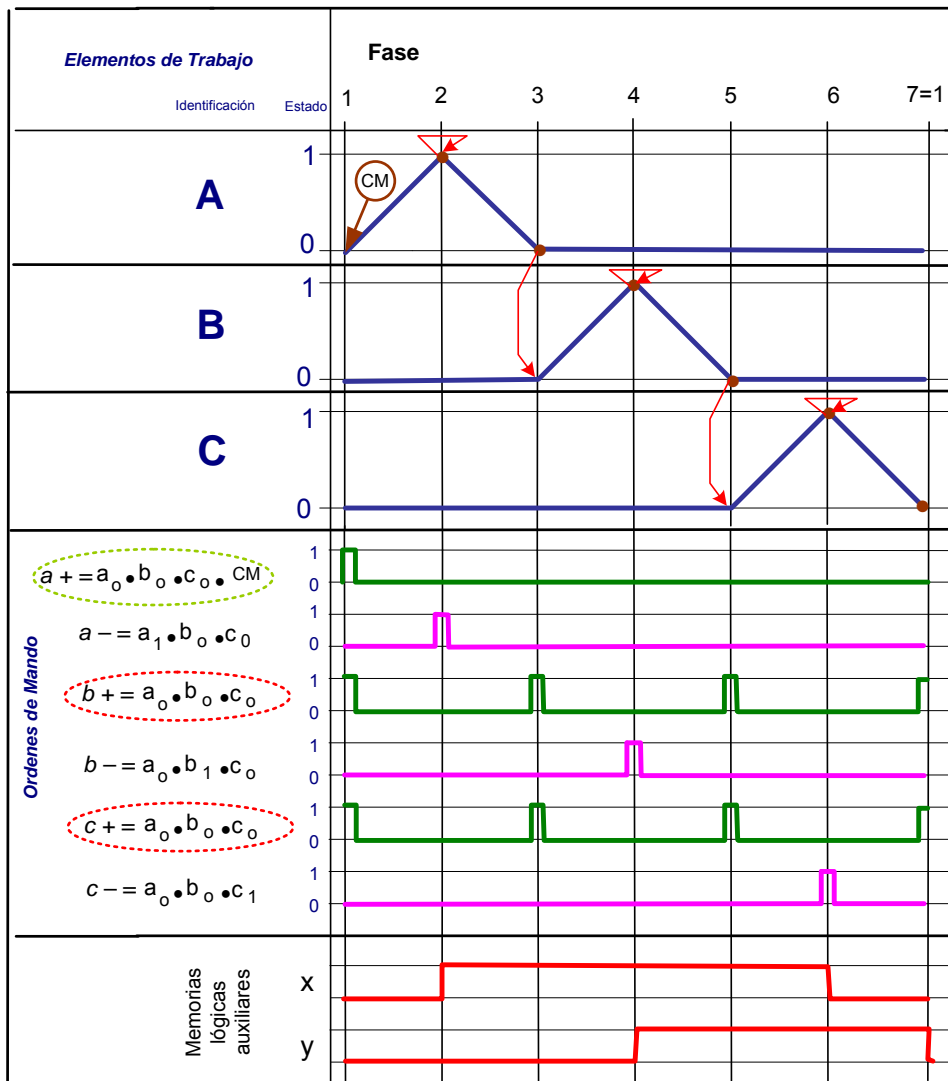
Tabla 6.5.2.2.- Ordenes de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II con memorias de control.

| Fase  | a <sub>0</sub> | a <sub>1</sub> | b <sub>0</sub> | b <sub>1</sub> | c <sub>0</sub> | c <sub>1</sub> | x | y | ecuación   | Acción                    |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|--|---------------------------|
| 1     | 1              | 0              | 1              | 0              | 1              | 0              | 0 | 0 | $CM \bullet a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y} = 1$ | A +                       |
| 2     | 0              | 1              | 1              | 0              | 1              | 0              | 1 | 0 | $a_1 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet x \bullet \bar{y} = 1$                  | A -                       |
| 3     | 1              | 0              | 1              | 0              | 1              | 0              | 1 | 0 | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet x \bullet \bar{y} = 1$                  | B +                       |
| 4     | 1              | 0              | 0              | 1              | 1              | 0              | 1 | 1 | $a_0 \bullet b_1 \bullet c_0 \bullet x \bullet y = 1$                        | B -                       |
| 5     | 1              | 0              | 1              | 0              | 1              | 0              | 1 | 1 | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet x \bullet y = 1$                        | C +                       |
| 6     | 1              | 0              | 1              | 0              | 0              | 1              | 0 | 1 | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_1 \bullet \bar{x} \bullet y = 1$                  | C -                       |
| 7 = 1 | 1              | 0              | 1              | 0              | 1              | 0              | 0 | 0 | $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y} = 1$            | Condición final e inicial |

Esta tabla, también, se podrá desarrollar implícitamente a través del diagrama desplazamiento fase conjuntamente con el diagrama de estado de las señales de posición y de memoria, como a continuación se muestra.

<sup>38</sup> Con *n* memorias auxiliares de dos valores se podrá diferenciar 2<sup>n</sup> señales de mando idénticas.

<sup>39</sup> Con respecto a los órdenes de mando 4 y final de la secuencia (orden 7): las señales de activación y desactivación de la memoria “y”, en esas etapas, se producen antes que dichas órdenes.

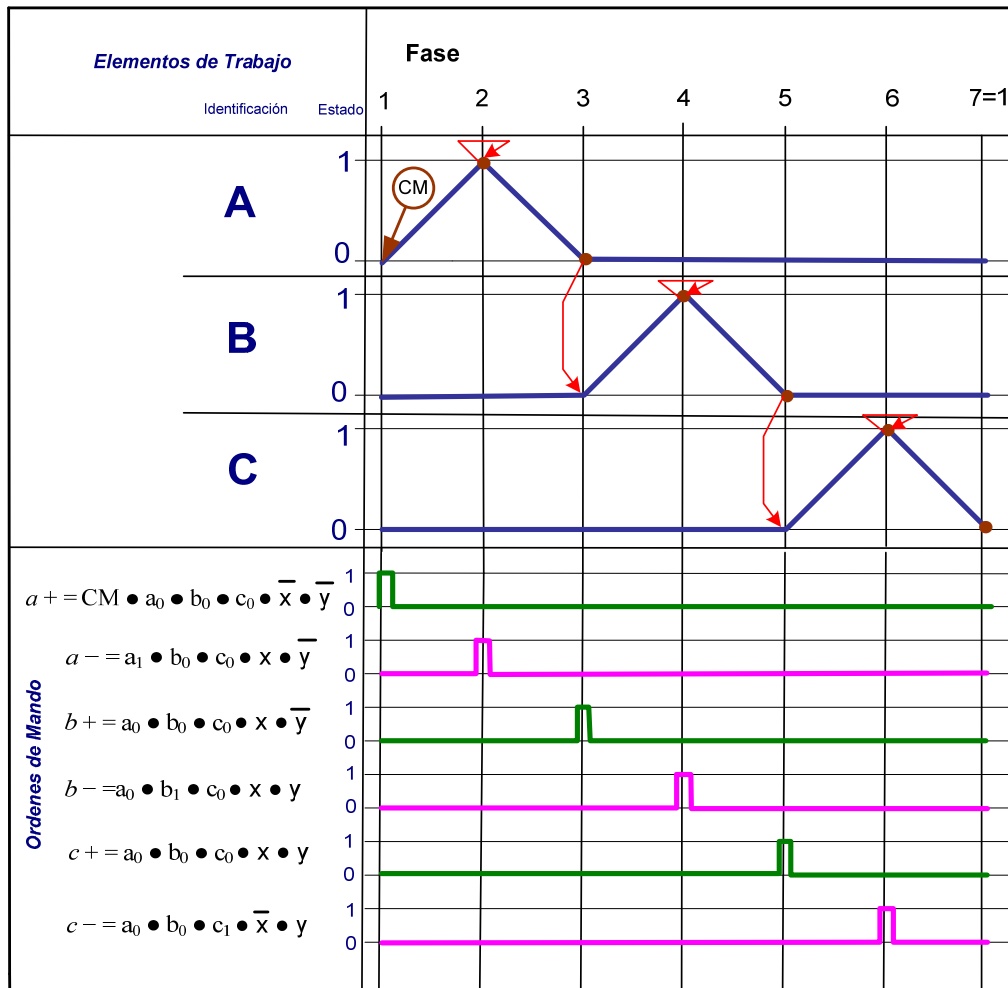


Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.5.2.5.- Diagrama de mando de la sec. A+ A+ B+- B- C+ C- y memorias auxiliares.

En la siguiente figura, se muestra el diagrama simplificado de mando con solución óptima que incorpora las dos memorias auxiliares empleadas “x” e “y”, y como se puede apreciar, no existe problema de semejanza de órdenes ni de señales permanentes.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.5.2.6.- Diagrama de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II.

Con objeto de dar mayor fiabilidad y seguridad al sistema y empleando las técnicas desarrolladas con el Método Combinacional I, se introducen el Procedimiento predefinido de las Memorias de control que memoriza las órdenes de mando. Así, ahora, las ecuaciones de las instrucciones de mando son:

Tabla 6.5.2.3.- Ordenes de mando sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II

| Número de Fase | Acción | Ecuación  |
|----------------|--------|---|
| 1              | A+     | $sA = CM \bullet a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y}$ |
| 2              | A-     | $rA = a_1 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet x \bullet \bar{y}$                  |
| 3              | B+     | $sB = a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet x \bullet \bar{y}$                  |
| 4              | B-     | $rB = a_0 \bullet b_1 \bullet c_0 \bullet x \bullet y$                        |
| 5              | C+     | $sC = a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet x \bullet y$                        |
| 6              | C-     | $rC = a_0 \bullet b_0 \bullet c_1 \bullet \bar{x} \bullet y$                  |

Para completar el algoritmo del método combinacional II, se deben formular las ecuaciones de activación y desactivación de las memorias auxiliares “x” e “y” empleadas. Estas se obtienen, también, del diagrama de mando al considerar los flancos ascendentes y descendentes de las propias memorias auxiliares, es decir, donde las memorias pasan del estado “0” al “1” y viceversa. Con objeto de garantizar un único punto de activación y desactivación para cada memoria, se añade en las instrucciones de cada memoria su valor previo<sup>40</sup> y el de todas las memorias empleadas.

Tabla 6.5.2.4.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II

| Memoria | Acción        | Ecuación   |
|---------|---------------|--|
| x       | Activación    | $sX = a_1 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y}$ |
|         | Desactivación | $rX = a_0 \bullet b_0 \bullet c_1 \bullet x \bullet y$             |
| y       | Activación    | $sY = a_0 \bullet b_1 \bullet c_0 \bullet x \bullet \bar{y}$       |
|         | Desactivación | $rY = a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet \bar{x} \bullet y$       |

<sup>40</sup> Uno de los criterios de minimización, que se considera posteriormente, es que se puede prescindir para la definición de una memoria dada de su propio estado precedente desactivado.

De la exposición hecha hasta el momento y del ensayo en el Laboratorio, para los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, se establecen los siguientes postulados:

1. *La solución del Método Combinacional II emplea, por defecto, dos captadores por actuador y considera las entradas que están presentes al iniciarse la fase para la definición de sus órdenes de mando. Y, por tanto, no existen problemas de señales permanentes y se eliminan “las señales sin efecto”<sup>41</sup>*
2. *El empleo del “Diagrama de mando simplificado”, en el Método Combinacional II, garantiza un análisis exhaustivo y rápido de la secuencia y de la problemática de la semejanza de órdenes.*
3. *La determinación del número de memorias auxiliares del Método combinacional II que son necesarias para diferenciar órdenes semejantes responde al principio “con  $n$  memorias auxiliares binarias se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas”*
4. *Las ecuaciones de las memorias auxiliares del Método combinacional II, empleadas para discernir órdenes de mando semejantes, incorporarán el valor previo de todas las memorias empleadas y formarán, al menos, un sistema de  $n$  ecuaciones linealmente independientes.*
5. *La ubicación de las memorias auxiliares se establece, preferentemente, de forma que sus órdenes de activación y desactivación se sitúen sobre etapas que “no sufren” la semejanza de órdenes. Si no fuese posible, tal hecho, se estudiaran sus consecuencias. Y en último caso, se emplearán más memorias auxiliares adicionales para solventar tal situación.*
6. *Las órdenes de mando del Método combinacional II son implementadas, en el algoritmo de control, posteriormente a la*

---

<sup>41</sup> Accionamientos eléctricos activados, en un distribuidor, sin una necesidad real del mando y con efecto indiferente para la secuencia.



*activación y desactivación de las memorias auxiliares coincidentes en la misma etapa.*

Otra variante que se podría emplear para el desarrollo del Método combinacional II es que en las ecuaciones formuladas con las variables provenientes de los sensores y de las memorias se realicen con la operación lógica O (OR), en vez de con la operación lógica Y (AND). Para desarrollar esto, basta apoyarse en los fundamentos del álgebra lógica. Ejecutando la operación lógica O (OR) con las variables que tienen el valor cero en las correspondientes fases. En esta Tesis se ha optado para el desarrollo del primer bloque de la síntesis del algoritmo con la operación lógica Y (AND), fundamentándose en que la tipología habitual de los sensores empleados usan la lógica positiva.

En resumen, este Método combinacional II no sólo usa las memorias biestables del tipo RS para diferenciar la semejanza de órdenes de mando sino que, también, las emplean para memorizar las órdenes y su efecto. Para este último caso, las memorias siempre preceden a los distribuidores de potencia y su número depende de la tipología del distribuidor, como se ilustra en el Método combinacional I. Esto permite al subsistema de control tener un registro de las condiciones de entradas y de las órdenes de mando, lo que aportará al sistema la capacidad de disponer de información que identifique y valore la situación real en caso de fallo o anomalía. En resumen, el empleo de memorias auxiliares y de control, en la metodología combinacional II, permite diseñar máquinas electrohidráulicas y electroneumáticas automatizada más seguras. De esta forma, se responde a ciertas medidas de seguridad que se plasman en la ISO 12100-1<sup>42</sup> sobre Seguridad de las máquinas, y en las normas EN ISO 13849<sup>43</sup> y EN 62061<sup>44</sup> sobre aspectos referidos al diseño y creación de sistemas de control eléctrico.

---

<sup>42</sup> ISO 12100:2010 Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction

<sup>43</sup> ISO 13849-1:2006 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems.

<sup>44</sup> EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems

El algoritmo diseñado, con el Método combinacional II, se puede representar mediante un lenguaje de elementos lógicos, cuyo diagrama se puede trasladar, entonces, con más facilidad a las diversas tecnologías y lenguajes de programación a emplear.

A continuación, se presenta la implementación de la solución de la secuencia de los tres actuadores, con el Método combinacional II y con un circuito neumático con tres electroválvulas 5/2 monoestables.

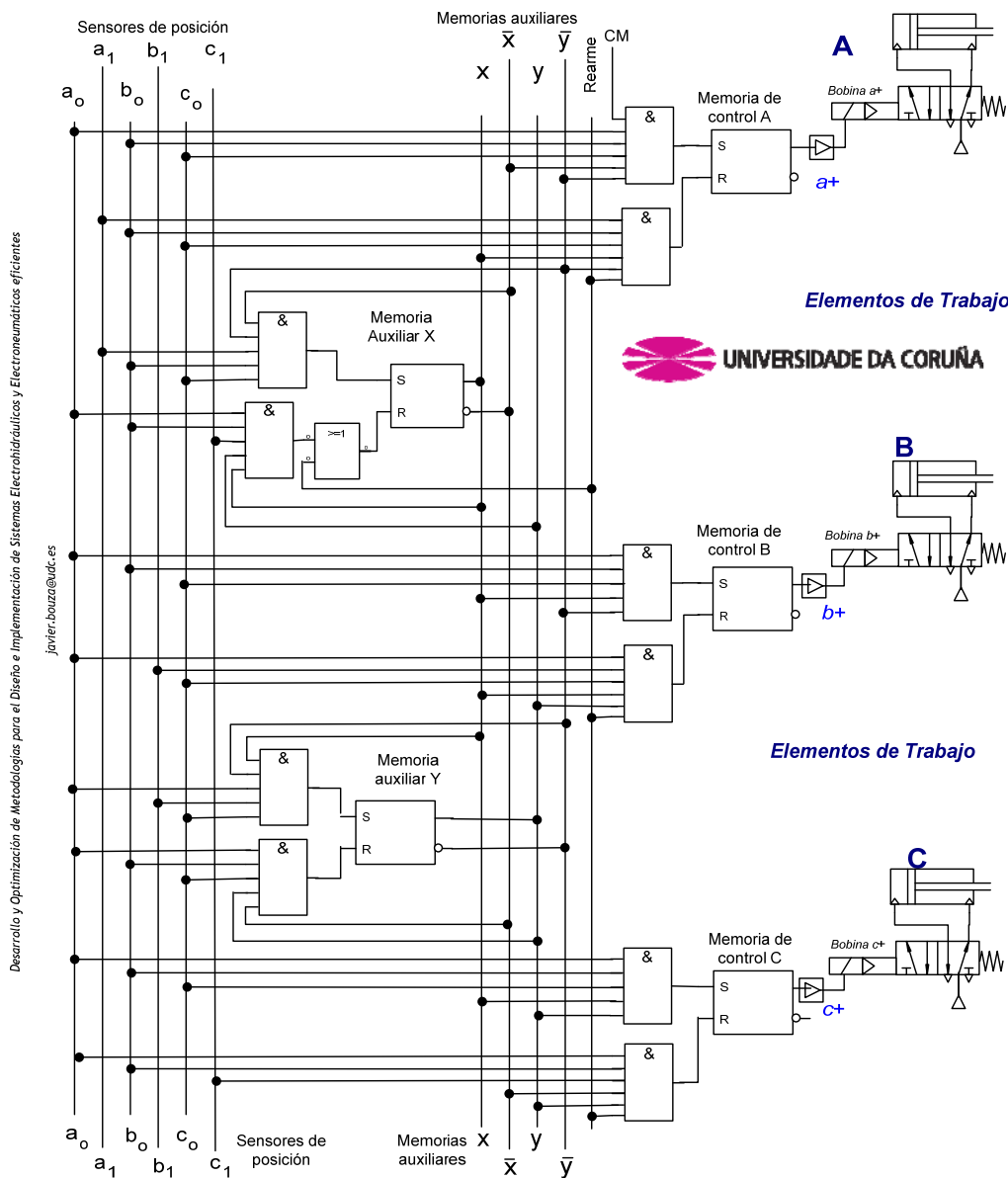


Figura 6.5.2.7.- FBD del algoritmo de funcionamiento sec. A+ A+ B+- B- C+ C- Método Combinacional II para circuito neumático con electroválvulas 5/2 monoestables.

6.5.3 Estudio del Método Combinacional II - caso II

En este segundo caso, se estudia:

- i. el número mínimo de memorias auxiliares
- ii. y el problema de semejanza entre órdenes mando y memorias auxiliares.

Para este caso, se ha escogido la siguiente secuencia de dos actuadores:

A+ B+ B- B+ B- A-

con un par de sensores, de posición de máxima y mínima carrera, para sendos actuadores. Su diagrama espacio-fase con las entradas que confirman la ejecución de fase es:

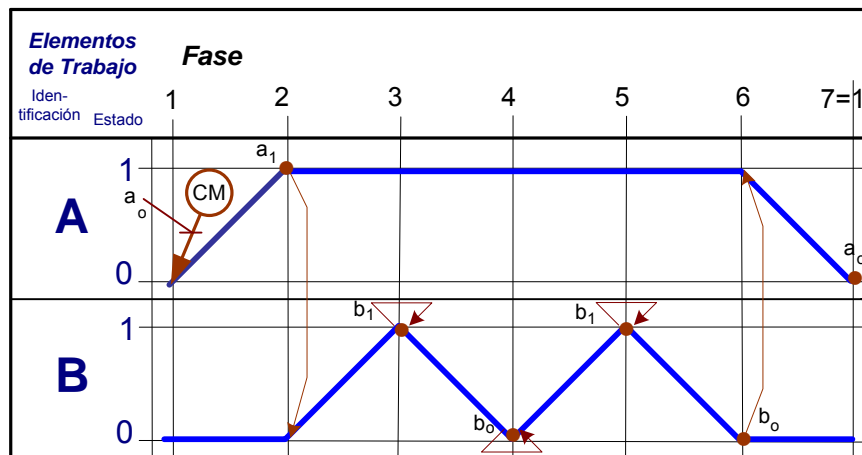


Figura 6.5.3.1.- Diagrama espacio-fase sec. A+ B+ B- B+ B- A-

A continuación, y siguiendo la Metodología de diseño de esta Tesis (capítulo IV), se trabaja la solución del primer bloque de la Síntesis del algoritmo de funcionamiento con una condición de marcha genérica o “CM” y con las entradas presentes al iniciar la fase. Y se aplican los postulados del Caso I.

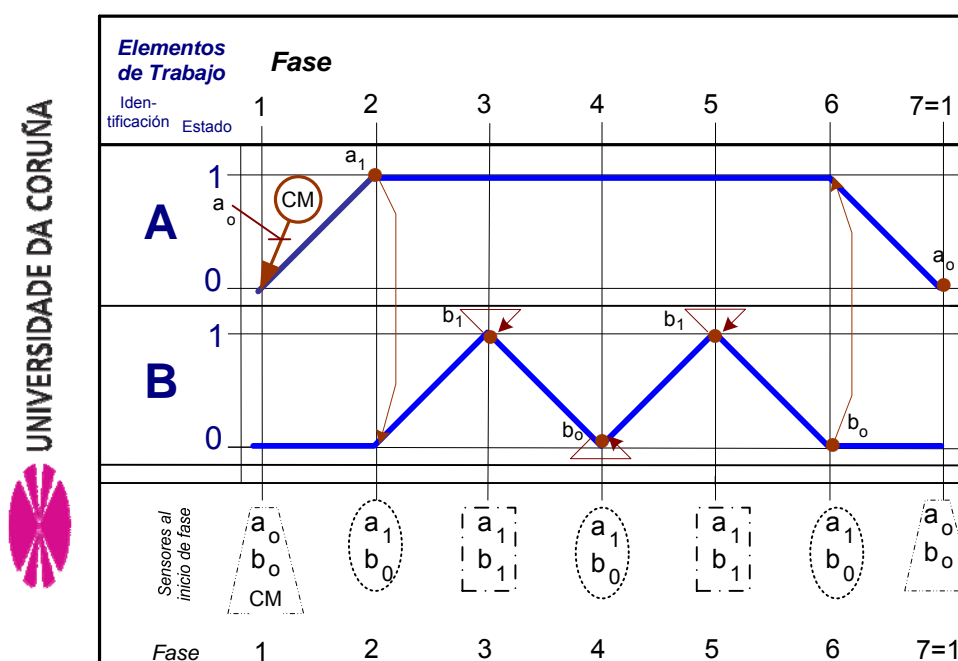
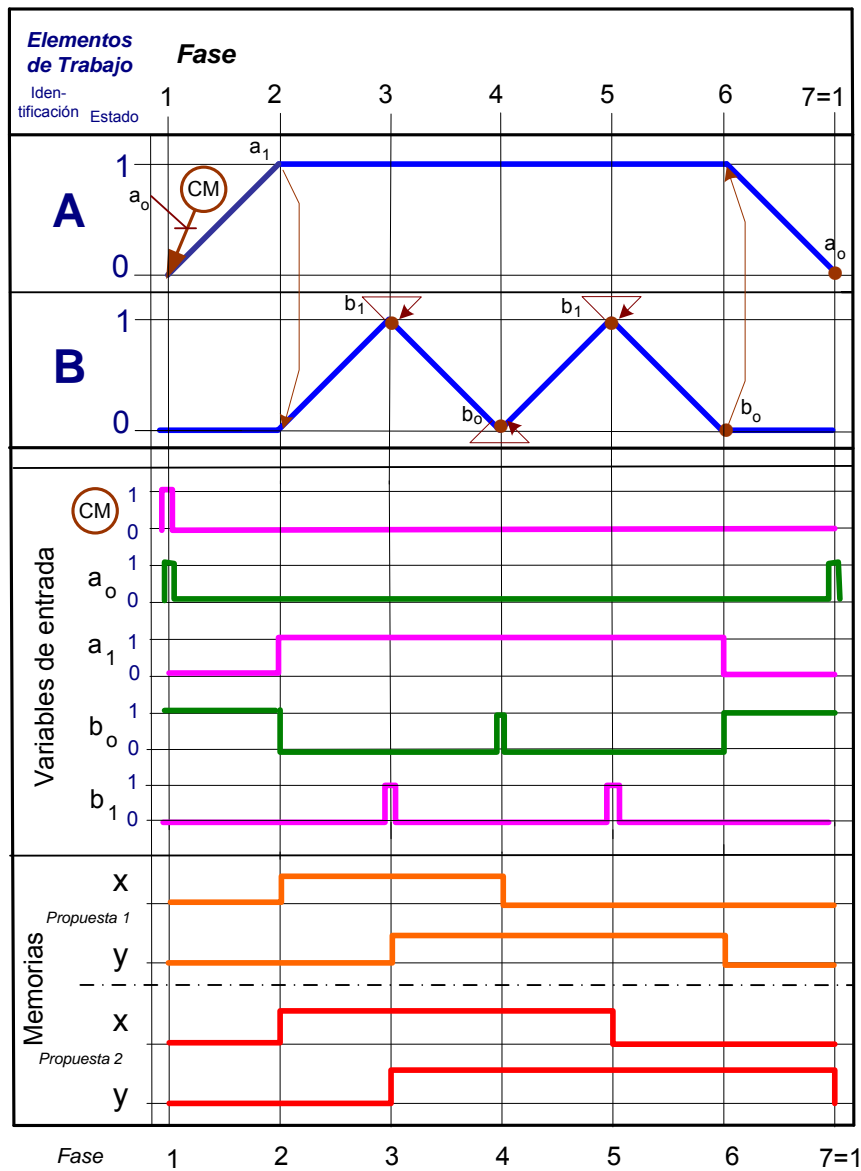


Figura 6.5.3.2.- Diagrama de mando sec. A+ B+ B- B+ B- A-

El ciclo de la secuencia, como se observa en la figura, es: accionada la condición de marcha, CM, se inicia la primer etapa y el actuador A avanza hasta la posición de máxima carrera. En la segunda, tercera, cuarta y quinta etapa, manteniendo el actuador A en posición estirada, se realizan dos ciclos consecutivos de avance y retroceso del actuador B para que finalmente en la etapa 6 se recoja el actuador A. Adoptando, para el desarrollo de las órdenes de mando, los sensores presentes al inicio de fase se elimina cualquier posibilidad de señales permanentes en un mismo distribuidor pero, en cambio y para este caso, se localizan dos problemas de semejanza de órdenes. Uno de ellos conllevará las órdenes de mando de las etapas dos, cuatro y seis y el otro, las etapas tres y cinco. Y, como se postulo en el caso I, con "con n memorias auxiliares binarias se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas" y de ahí con dos memorias se pueden diferenciar cuatro órdenes de mando idénticas. Lo que permitirá, para este caso, discernir por un lado la terna semejante de las órdenes "2, 4 y 6" y, a su vez, el dual semejante "3 y 5". A continuación, se pasa analizar la ubicación de las memorias auxiliares y sus consecuencias.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.5.3.3.- Diagrama espacio-fase y de mando sec. A+ B+ B- B+ B- A-

La primera propuesta de ubicación de memorias auxiliares, se establece a partir de la premisa de que sus propias órdenes de activación y desactivación no sufran, también, problema de semejanza de órdenes. Por otro lado y siguiendo los postulados del caso I, las órdenes de mando son implementadas en el algoritmo de control posteriormente a la activación o desactivación de las memorias auxiliares coincidentes en la misma etapa. Así, en esta primera propuesta, la memoria “x” se activará y desactivará, respectivamente, antes de las dos órdenes b+ (etapas 2 y 4) y la memoria “y” se activará antes de la

primera orden *b-* (etapa 3) y se desactivará antes de la orden *a-* (etapa 6). A continuación, se representa el diagrama de mando simplificado para esta primera propuesta:

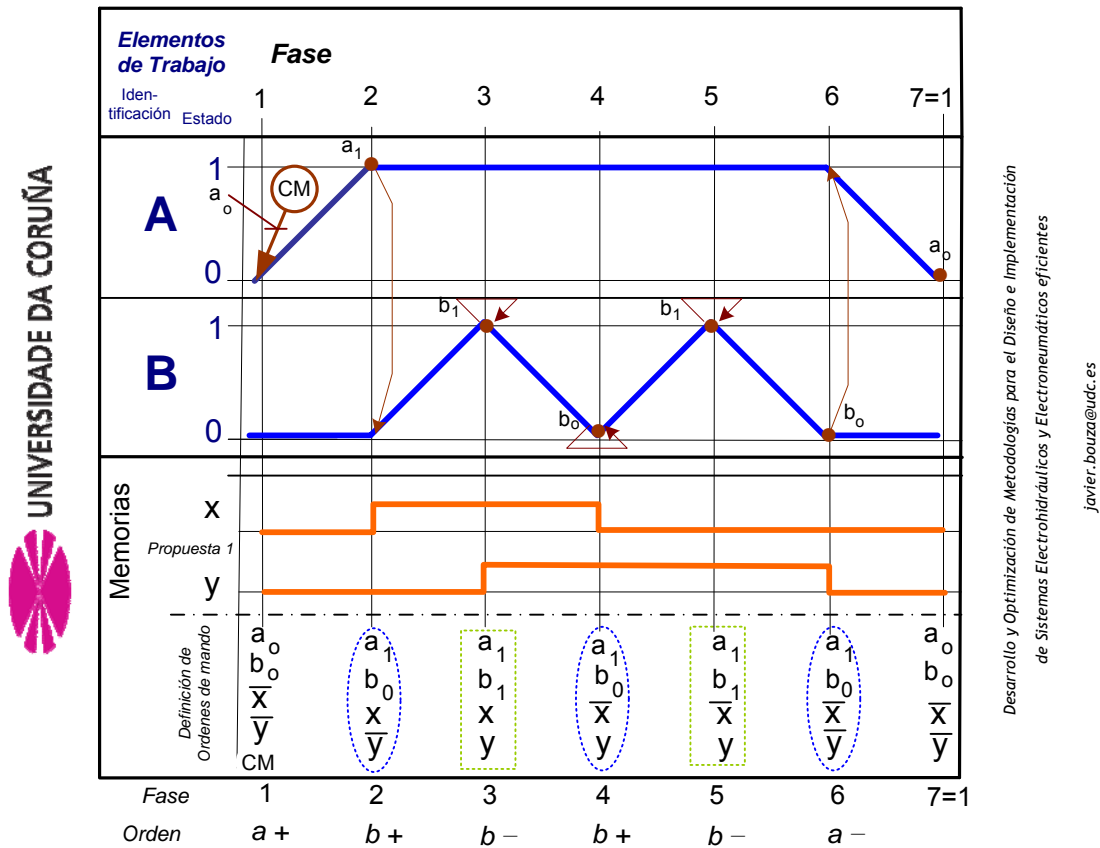


Figura 6.5.3.4.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 1.

Tabla 6.5.3.1.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 1.

| Memoria  | Acción        | Ecuación   |
|----------|---------------|--|
| <i>x</i> | Activación    | $sX = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y}$ |
|          | Desactivación | $rX = a_1 \bullet b_0 \bullet x \bullet y$             |
| <i>y</i> | Activación    | $sY = a_1 \bullet b_1 \bullet x \bullet \bar{y}$       |
|          | Desactivación | $rY = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet y$       |

En este caso y del análisis del diagrama simplificado y de las ecuaciones de las memorias, se detectan semejanzas entre las órdenes de mando y las memorias auxiliares. Como se observa, la definición de “la desactivación de la memoria  $y$ ” coincide con la orden 4 y “la activación de la memoria  $x$ ” coincide con la orden 6. Lo que provocará, p. ej. , que activada la memoria “ $y$ ” en la etapa 3, se desactive antes (etapa 4) de que le corresponda (etapa 6) y, en definitiva, se provoque una secuencia incorrecta.

Pero el problema ya se arrastra de antes de la etapa 3 y su ensayo, en el Laboratorio, lo percata: activada la CM, el cilindro A avanza pero en cuanto este alcance su máxima carrera, este cilindro se recogerá inmediatamente sin que el cilindro B actúe, y se finalizará la secuencia. Por tanto, *el problema no sólo radica en la semejanza de la definición de las memorias con las órdenes de mando sino, también, en el comportamiento del PLC ante la ejecución de órdenes de mando semejantes o parecidas*. Así, como ya se ha mostrado las órdenes 2, 4 y 6 son semejantes y se han diferenciado con el estado de dos memorias auxiliares “ $x$ ” e “ $y$ ”. Pero, el tiempo de procesamiento del programa de control, por parte del PLC o controlador digital, es normalmente inferior a los 16 milisegundos para los casos más desfavorables<sup>45</sup>. Esto implica que, ya no sólo, el tiempo de evolución de la secuencia sea muy superior al tiempo de ciclo, sino que el tiempo de ejecución de una etapa será superior al tiempo de ciclo en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos convencionales. Además, de esta consideración sobre la rapidez de procesamiento del programa por el PLC, las órdenes de mando no son ejecutadas de forma secuencial. Es decir, que las órdenes no se ejecutan según están escritas o dispuestas en el programa de control, “una después de la otra” (salvo que se ordenen a tal efecto), sino que se efectúan cuando sus ecuaciones se cumplen. En función de estos hechos y retomando la secuencia estudio: realizada la orden  $a_+$  (etapa 1), el PLC ante la combinación de entrada “ $a_1 \bullet b_0$ ” ejecuta, simultáneamente, dos ecuaciones:

- 1) la orden de mando de la etapa 6:

$$a - = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y}$$

2) y la memoria “x”

$$sX = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y}$$

Y la primera, provoca la recogida del actuador A y el quebrantamiento de la secuencia.

Para solucionar las problemáticas encontradas en la primera propuesta, se estudia desactivar la memoria “y” en el final de la secuencia, en vez de hacerlo en la etapa 6. Así, el nuevo diagrama de mando simplificado, para esta segunda propuesta, es el siguiente:

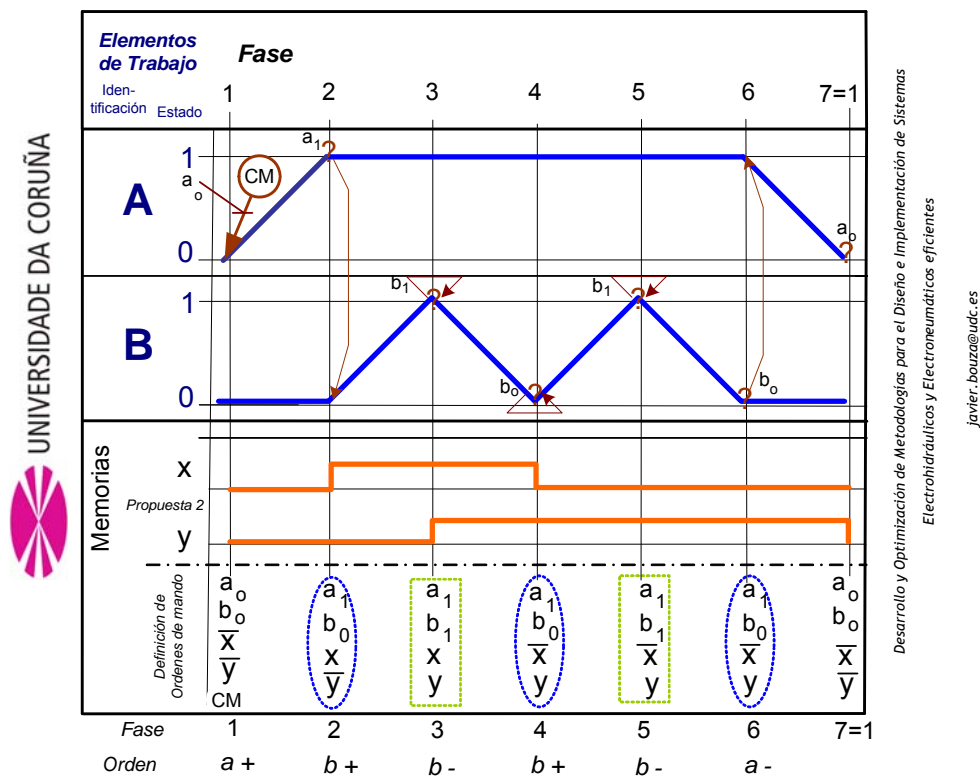


Figura 6.5.3.5.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 2.

<sup>45</sup> El tiempo de ciclo comprende lectura de entradas, procesamiento del programa y lectura final de salidas. Este dato, se ha verificado en el Laboratorio mediante prueba de diferentes controladores digitales de la empresa Siemens (Logo!, S7-200 y S7-1200) y para programas que no sobrepasa 1Kb instrucciones.



Tabla 6.5.3.2.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 2.

| <i>Memoria</i> | <i>Acción</i>        | <i>Ecuación</i>  |
|----------------|----------------------|--|
| <b>X</b>       | <b>Activación</b>    | $sX = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y}$ |
|                | <b>Desactivación</b> | $rX = a_1 \bullet b_0 \bullet x \bullet y$             |
| <b>Y</b>       | <b>Activación</b>    | $sY = a_1 \bullet b_1 \bullet x \bullet \bar{y}$       |
|                | <b>Desactivación</b> | $rY = a_0 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet y$       |

Ahora, por un lado se resuelve el problema de la etapa 2, pues ante la combinación de entrada “ $a_1 \bullet b_0$ “, se activa primeramente la memoria “x” y luego se dispara la orden  $b+$  y, en consecuencia, ya no se ejecutará la orden  $a-$  en ese instante.

Y por otro lado, vemos que se ha eliminado la semejanza entre la definición de las órdenes de mando y las memorias, con el matiz de la desactivación de la memoria “y” que coincide con el estado de reposo de la secuencia (no con la orden  $a+$ ).

Pero, en contrapartida, en esta segunda propuesta se genera una semejanza entre la orden 4 y la 6. Esto provoca que, si bien se inicie correctamente la secuencia, se producirá la recogida del cilindro A cuando el sistema se sitúe en la etapa 4 y, por tanto, el incumplimiento de la secuencia. Ante este problema, se estudia una tercera propuesta que alarga la memoria “x”. A continuación, se muestra el diagrama simplificado y la definición de las memorias auxiliares.

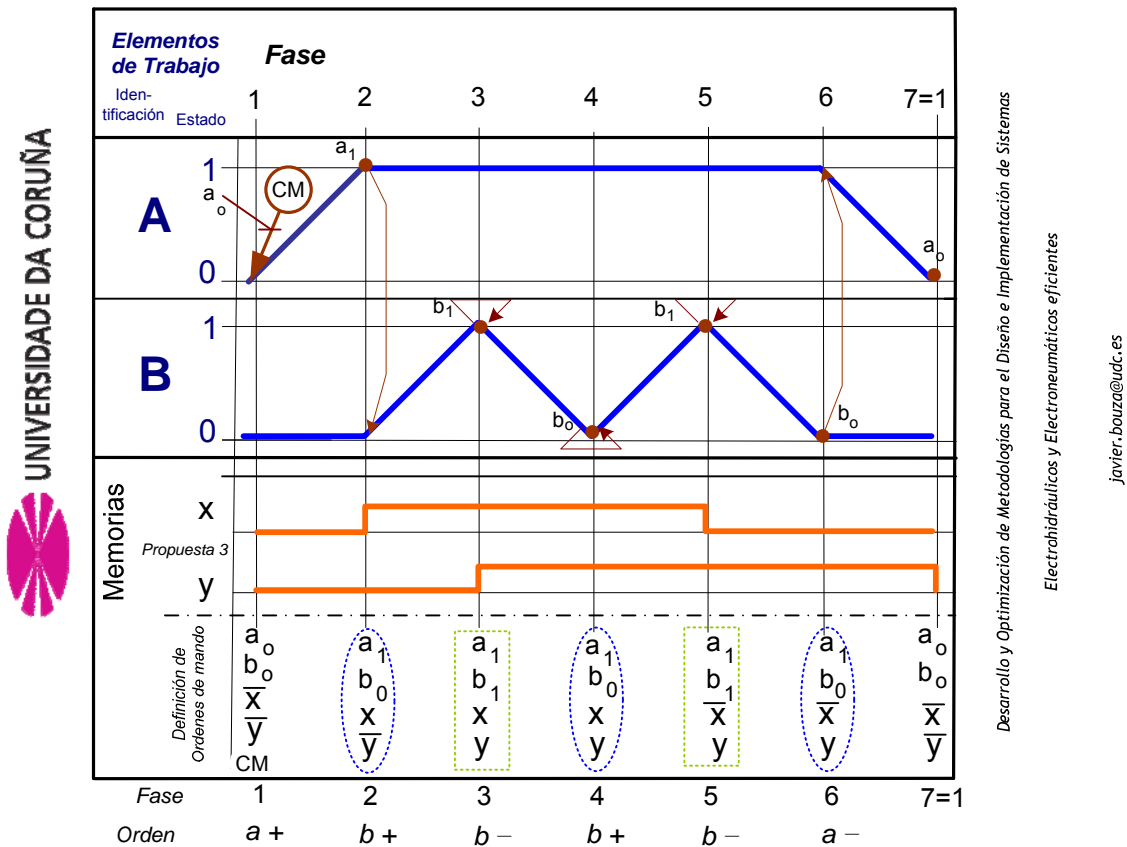


Figura 6.5.3.6.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 3

Tabla 6.5.3.3.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 3.

| Memoria | Acción        | Ecuación   |
|---------|---------------|--|
| X       | Activación    | $sX = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y}$ |
|         | Desactivación | $rX = a_1 \bullet b_1 \bullet x \bullet y$             |
| Y       | Activación    | $sY = a_1 \bullet b_1 \bullet x \bullet \bar{y}$       |
|         | Desactivación | $rY = a_0 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet y$       |

De esta tercera propuesta, como se observa, si bien se resuelve la semejanza entre las órdenes de mando, surge una nueva semejanza entre la orden 3 y la definición de la desactivación de la memoria “x”. Esto provoca que la secuencia se inicie bien pero cuando llega a la etapa 3 se desactiva la memoria “x” y se produce el incumplimiento de la secuencia.

Finalmente, se estudia una cuarta propuesta, para corregir la problemática de semejanzas, añadiendo una tercera memoria auxiliar.

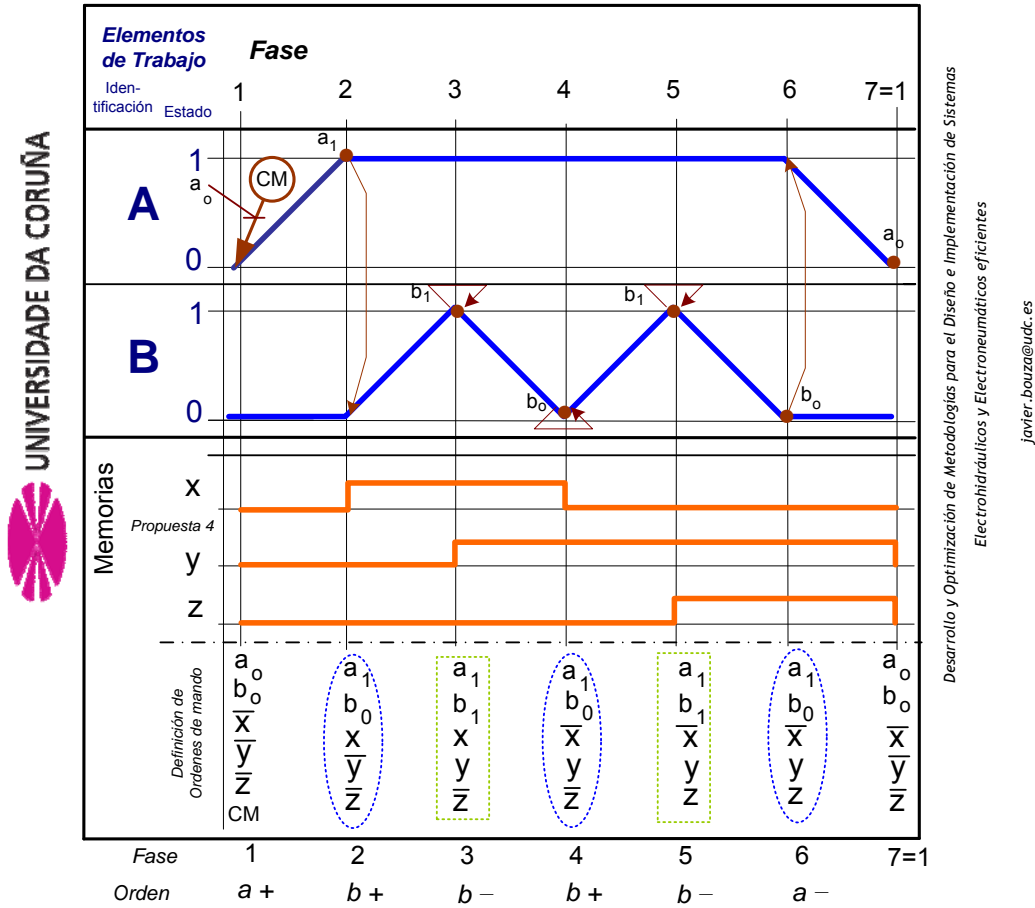


Figura 6.5.3.7.- Diagrama simplificado sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 4.

Tabla 6.5.3.4.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ B+ B- B+ B- A- propuesta 4.

| Memoria | Acción        | Ecuación   |
|---------|---------------|--|
| X       | Activación    | $sX = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y} \bullet \bar{z}$ |
|         | Desactivación | $rX = a_1 \bullet b_0 \bullet x \bullet y \bullet \bar{z}$             |
| Y       | Activación    | $sY = a_1 \bullet b_1 \bullet x \bullet \bar{y} \bullet \bar{z}$       |
|         | Desactivación | $rY = a_0 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet y \bullet z$             |
| Z       | Activación    | $sZ = a_1 \bullet b_1 \bullet \bar{x} \bullet y \bullet \bar{z}$       |
|         | Desactivación | $rZ = a_0 \bullet b_0 \bullet \bar{x} \bullet \bar{y} \bullet z$       |

Unos detalles importantes, a reseñar, en esta última propuesta son:

- i. que la orden 4 no puede ser simplificada eliminando la memoria negada “z” (su estado es desactivado). Ya que, de hacerlo así, todo funcionará correctamente hasta la etapa 6, momento en el cual el PLC ejecutaría de nuevo la orden 4 y, por tanto, no se finalizará correctamente la secuencia.
- ii. Que se debe resetear todas las memorias auxiliares empleadas antes de ejecutar el primer ciclo de programa o cuando se rearma el sistema, para que no actúen valores remanentes de situaciones anteriores. Este aspecto, se tratará en el segundo bloque de la síntesis.

En resumen, para este segundo caso objeto de estudio, se puede concluir que:

1. *Si las consecuencias de la semejanza entre señales de activación y desactivación de las memorias auxiliares con las órdenes de mando a diferenciar hacen inviable la solución: se introducirán más memorias auxiliares para resolverlo.*
2. *El principio “con  $n$  memorias auxiliares binarias se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas” aplicado al número total de órdenes que sufren problema de semejanza, independientemente de que todas las órdenes sean semejantes entre sí<sup>46</sup>, garantiza un número correcto de memorias auxiliares para la solución del sistema. Una opción menor deberá ser objeto de un exhaustivo estudio.*
3. *En la definición del rango de las memorias auxiliares a emplear: se debe evitar que las órdenes de mando semejantes se diferencien por emplear, exclusivamente, todas las memorias auxiliares negadas. Y en el caso de hacerlo, se debe comprobar que su orden de ejecución con respecto a las señales de mando diferenciadas sea el primero.*

---

<sup>46</sup> P.ej, un total de 4 órdenes semejantes formados 2 pares de órdenes semejantes.

Esta última conclusión, se justifica en el carácter combinatorial de la solución y en la rapidez de procesamiento del PLC. El PLC o controlador ejecutará primero la orden de mando diferenciada con todas sus memorias auxiliares negadas con respecto a las otras. Y por ello, se debe poner especial atención en el orden en que aparecen las señales semejantes en la secuencia y en su orden de ejecución por parte del PLC.

6.5.4 Estudio del Método Combinacional II- caso III

El siguiente caso, profundiza sobre tres aspectos:

- i) La problemática de la orden inicial y su señal de condición de marcha como elemento empleado para discernir la semejanza de órdenes.
- ii) La necesidad de realizar un análisis de la semejanza entre las definiciones de las memorias auxiliares empleadas y las órdenes de mando.
- iii) La colocación de las memorias auxiliares: el cruce o no de las mismas.

Sea la secuencia:

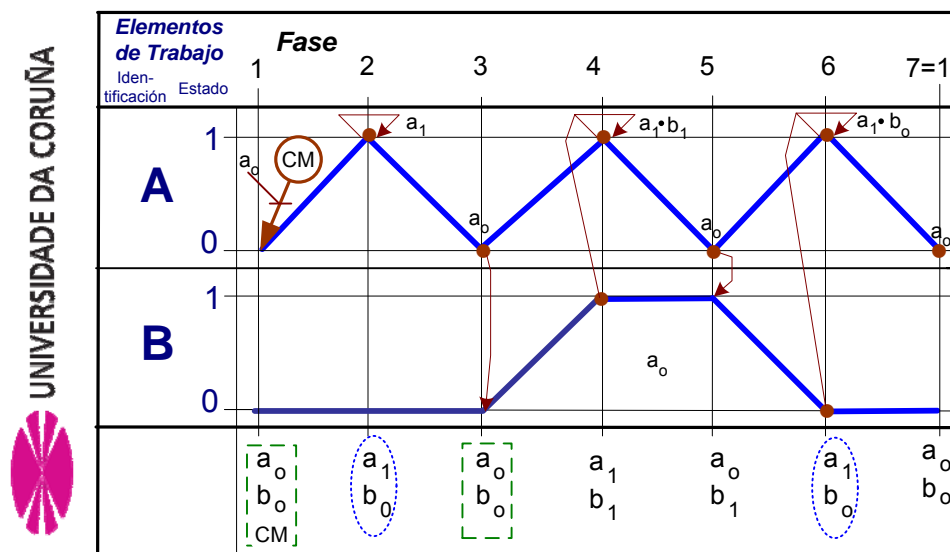


Figura 6.5.4.1.- Diagrama espacio-fase sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A-

De los postulados de los casos anteriores:

1. Se adopta, para el desarrollo del algoritmo de funcionamiento, los sensores presentes al inicio de fase. Esto garantiza la inexistencia de señales permanentes en un mismo distribuidor pero, en cambio y en este caso, se generan dos pares de órdenes semejantes.
2. Y “con n memorias auxiliares binarias se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas”. Por tanto, con dos memorias se podrá distinguir las cuatro señales semejantes sin considerar la CM.

Pero, a continuación, se estudia la señal de CM como variable para solventar el problema de semejanza. Y se plantea distinguir, con una sola memoria y la CM, los pares de órdenes de mando idénticas “1 y 3” y “2 y 6”. Se procede a analizar la ubicación de dos propuestas para una única memoria auxiliar y sus consecuencias.

Se representa el diagrama simplificado para la primera propuesta.

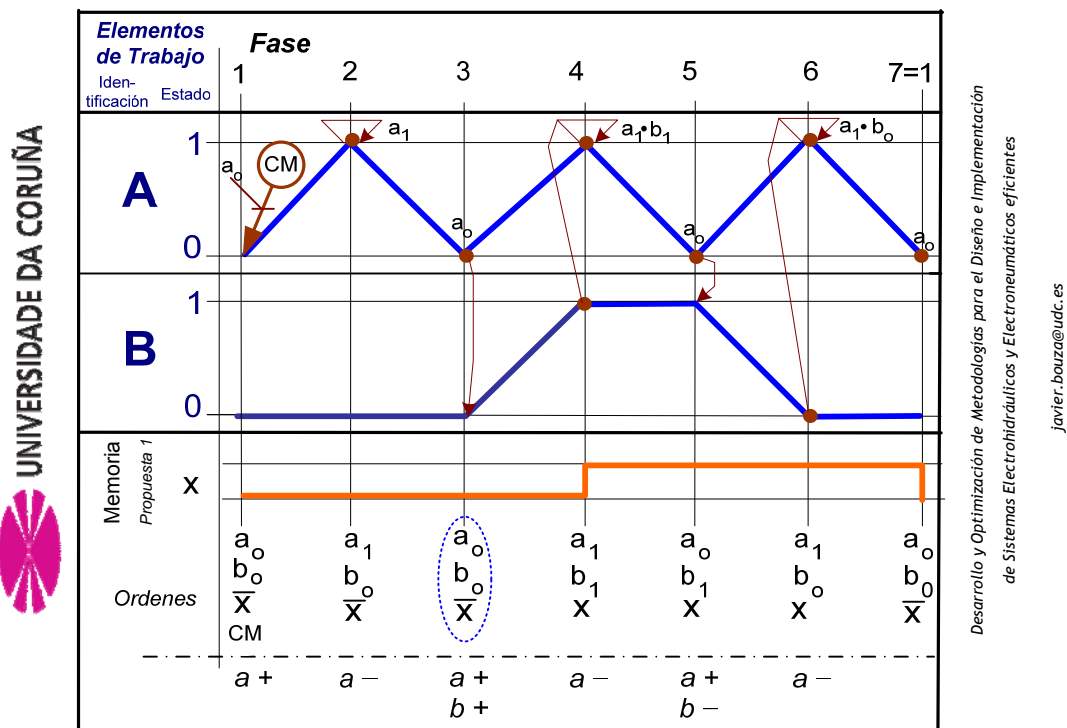


Figura 6.5.4.2.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 1.

Y las ecuaciones de la memoria auxiliar “x” son:

Tabla 6.5.4.1.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 1.

| <i>Memoria</i> | <i>Acción</i>        | <i>Ecuación</i>                        |
|----------------|----------------------|--|
| <i>x</i>       | <b>Activación</b>    | $sX = a_1 \bullet b_1 \bullet \bar{x}$ |
|                | <b>Desactivación</b> | $rX = a_0 \bullet b_0 \bullet x$       |

De esta forma, y aparentemente, se corrige la semejanza de los órdenes: una mediante la señal de la “CM” en el caso del dual semejante “1 y 3” y otra mediante la memoria “x” para el dual “2 y 6”. Pero analizando los órdenes y su orden de ejecución por parte del PLC, se detecta: que en la posición inicial, o de reposo, sin activar condición de marcha (“CM”) avanza el cilindro A (A+) y el cilindro B (B+) simultáneamente. El problema, como se señala en el diagrama simplificado, se encuentra en el orden 3: cuya definición coincide con la condición de reposo y, por tanto, solo se diferencia de la orden 1 en la señal de CM.

Con objeto de solventar este problema, en la etapa 1, se establece una segunda propuesta de ubicación que corrija este comienzo sin control. A continuación, se detalla el diagrama simplificado:

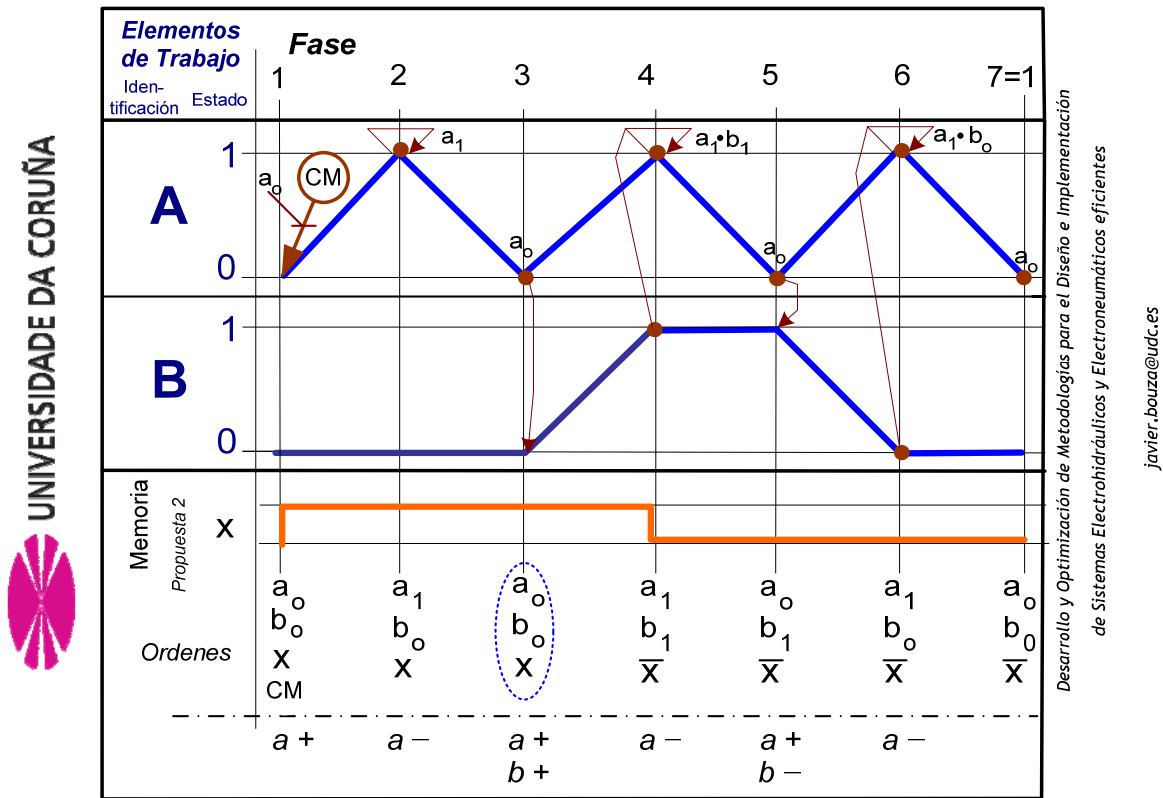


Figura 6.5.4.3.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 2.

Y las ecuaciones de la memoria auxiliar, en la propuesta 2, serán:

Tabla 6.5.4.2.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 2.

| Memoria | Acción        | Ecuación                                    |
|---------|---------------|---|
| x       | Activación    | $sX = CM \cdot a_0 \cdot b_0 \cdot \bar{x}$ |
|         | Desactivación | $rX = a_1 \cdot b_1 \cdot x$                |

En esta segunda propuesta, el sistema en condición inicial no se dispara instantáneamente sin activar la CM. Pero, sigue sin corregirse el problema de la orden 3 y su ejecución por parte del PLC en la posición inicial. Puesto que: si bien no arranca ningún actuador en el estado inicial o de reposo, si avanza simultáneamente los actuadores A y B al activar condición de marcha (“CM”).



Se define una tercera propuesta de ubicación en la memoria “x”:

Tabla 6.5.4.3.- Ecuaciones de las memorias aux. sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 3.

| Memoria | Acción        | Ecuación                               |
|---------|---------------|--|
| x       | Activación    | $sX = a_1 \bullet b_0 \bullet \bar{X}$ |
|         | Desactivación | $rX = a_1 \bullet b_1 \bullet X$       |

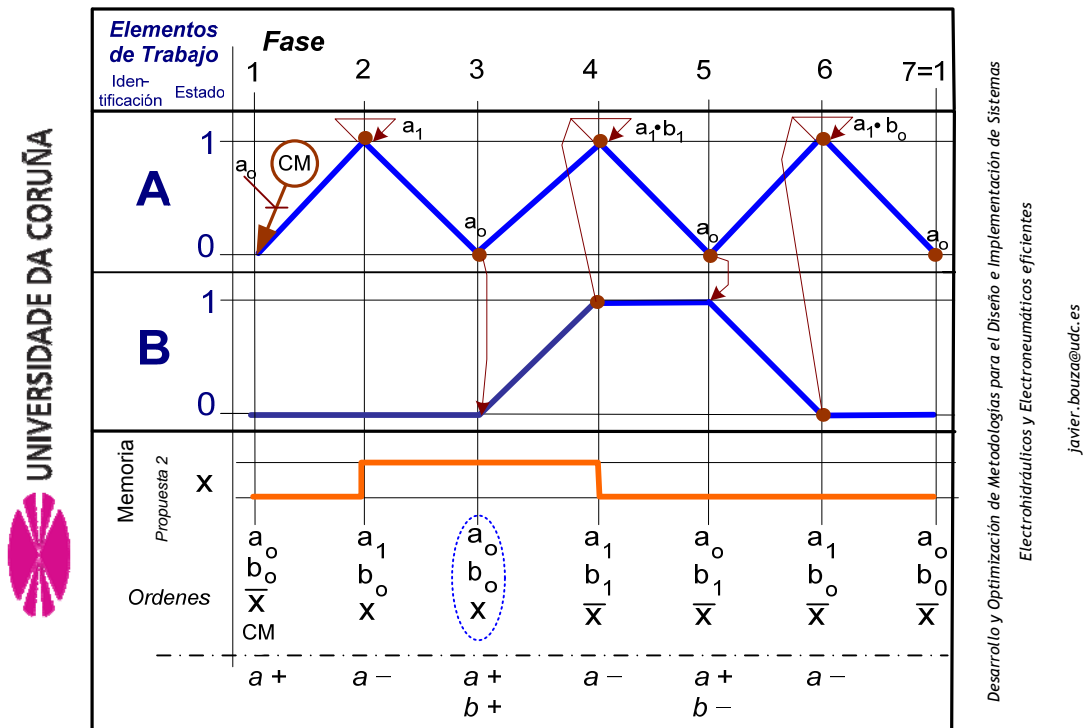


Figura 6.5.4.4.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 3.

En esta tercera propuesta: en la posición inicial y con CM no se dispara la orden 3 y se realiza correctamente. Pero, se detecta otro problema: que la memoria “x” se activa en la etapa 2 pero, también, en la 6. Esta semejanza, en la definición de la activación de la memoria “x” con la orden 6 provoca el incumplimiento de la secuencia: cuando el sistema alcanza el final de secuencia se disparan los cilindros A y B.

En definitiva, es necesaria una segunda memoria, para evitar la semejanza de una única memoria y distinguir sin confusión su rango de activación. Así, surge la propuesta 4 con dos memorias auxiliares, y cuyo diagrama simplificado es:

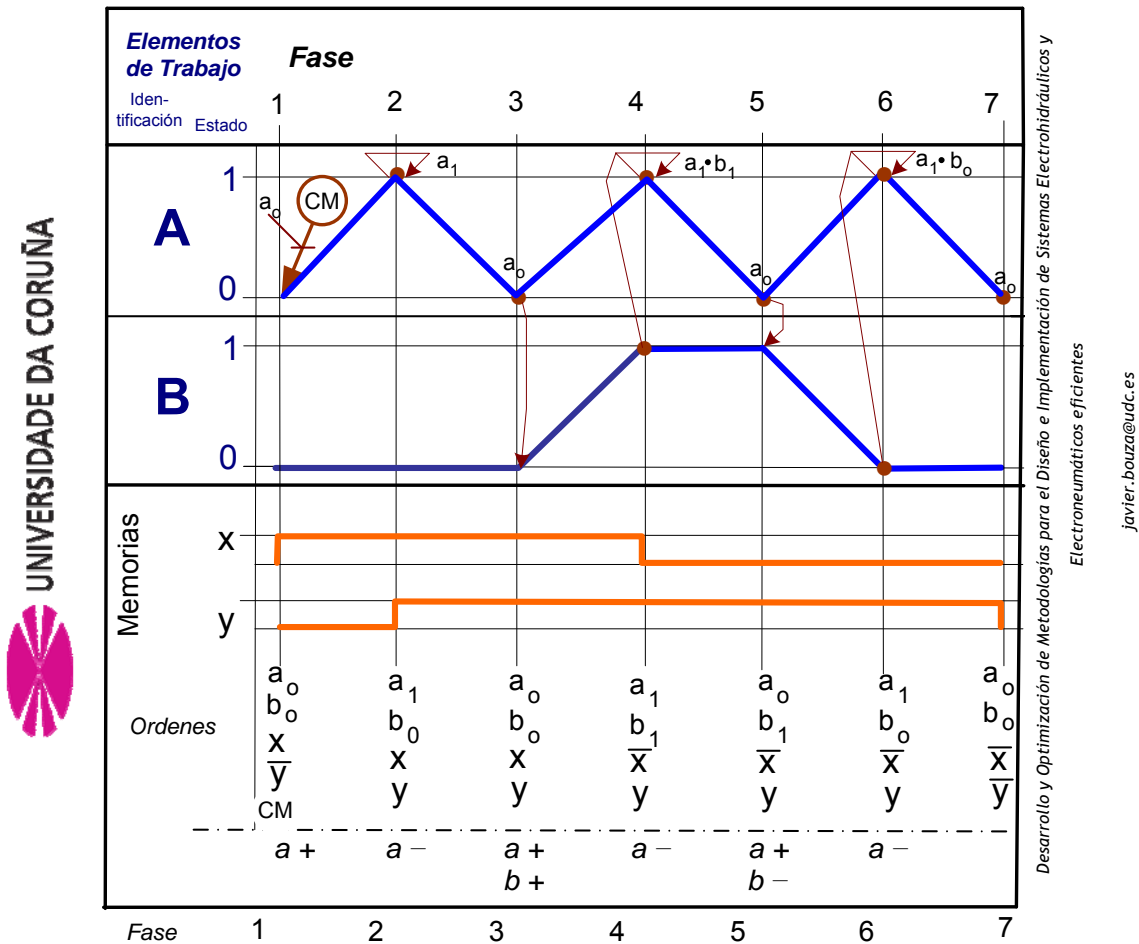


Figura 6.5.4.5.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 4.

A continuación, se plantea el Diagrama de Bloques de Función o FBD, para las memorias auxiliares del algoritmo de funcionamiento:

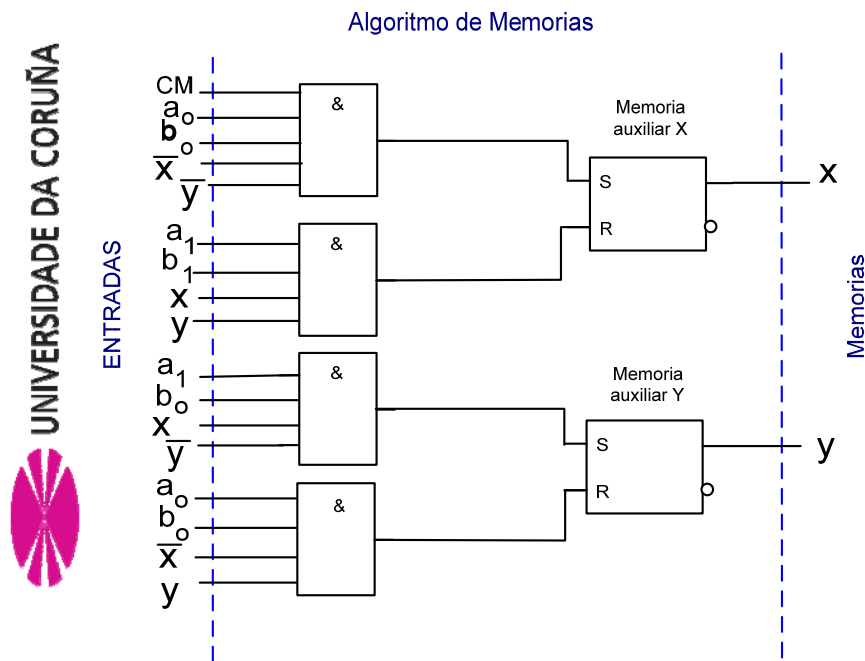


Figura 6.5.4.6.- FBD de memorias sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 4.

En esta cuarta propuesta, se resuelve definitivamente el problema de la orden 3 y la semejanza que sufre una única memoria: por un lado, se redefine la orden 3 al introducir dos memorias “x” e “y”, que deberán estar activadas, y que las diferencian tanto de la condición de reposo (etapa 7) como de la orden de mando 1; y por otro, se elimina cualquier semejanza con las definiciones de las memorias “x” e “y”.

Por último, se plantea la quinta propuesta con dos memorias auxiliares que no se crucen y que sean consecutivas en sus rangos. Como se aprecia en la siguiente figura: en la etapa 3, se ejecuta primeramente la desactivación de la memoria “x”, luego la activación de la memoria “y” y, finalmente, se realiza la orden de mando 3. La repercusión de cruzar o no las memorias, en el diseño, sólo influye en el tamaño y legibilidad del programa.

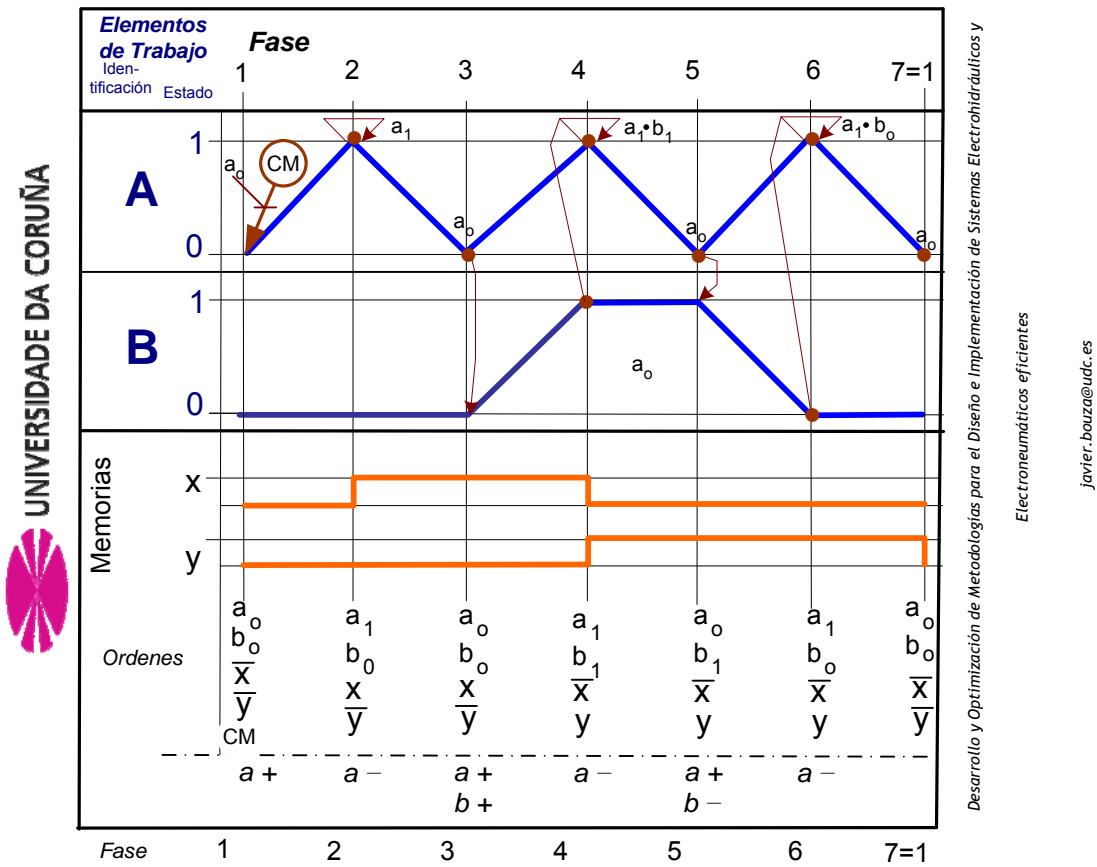


Figura 6.5.4.7.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 5.

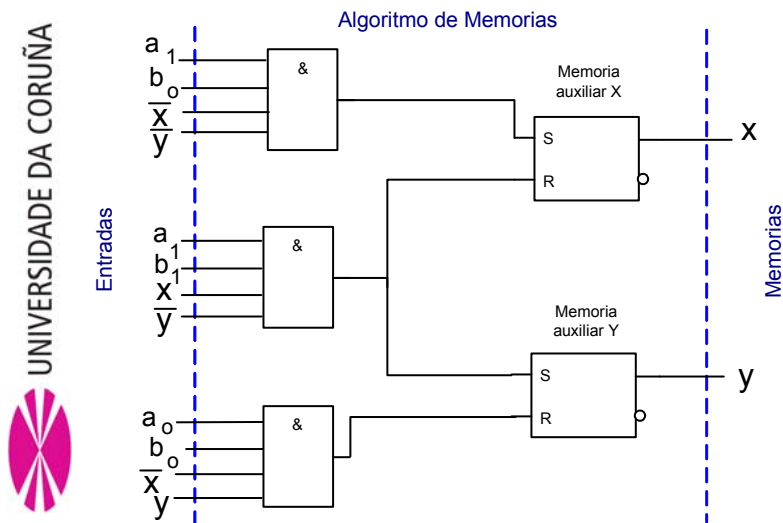


Figura 6.5.4.8.- FBD de memorias de la sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- propuesta 5.

Por tanto, de este caso III del Método Combinacional II, se concluye que:

1. *Que el conjunto de las órdenes de mando y de definición de las memorias auxiliares constituya un sistema de ecuaciones linealmente independiente no garantiza que la solución sea la correcta y habrá que estudiar más aspectos.*
2. *Es necesario que todas las órdenes de mando, salvo la inicial con la CM, se distingan de la condición de reposo. Por tanto, es imprescindible que aquellas órdenes de mando menos la primera, que repitan las variables presentes en el estado de reposo, no empleen todas las memorias auxiliares negada para discernir su semejanza.*
3. *Es, también, necesario realizar un análisis que estudie la semejanza entre la definición de las memorias auxiliares empleadas y las órdenes de mando. Lo adecuado, es que una memoria dada se active o desactive en un único punto de la secuencia y en el caso de que no sea así, habrá que estudiar sus consecuencias. Si los efectos son inocuos: no será necesario implantar más memorias auxiliares.*

#### 6.5.5 Estudio del Método Combinacional II – caso IV

El último caso, del Método Combinacional II, trata los siguientes aspectos:

- i) se continúa profundizando en el mínimo número de memorias auxiliares cuando existen pares de órdenes semejantes.
- ii) procesos donde existen actuadores que realizan varias series en la misma secuencia.
- iii) las condiciones de retardo o de temporización en el proceso

La secuencia escogida para el caso IV surge como una particularidad experimental obtenida de un sinfín de pruebas en el Laboratorio, con diferentes tipologías de secuencia, para contrastar la validez del método combinacional II.

Este caso, se trata de dos actuadores A y B con sendos sensores (mínima y máxima carrera) que realizan la secuencia expuesta en el siguiente diagrama espacio-fase.

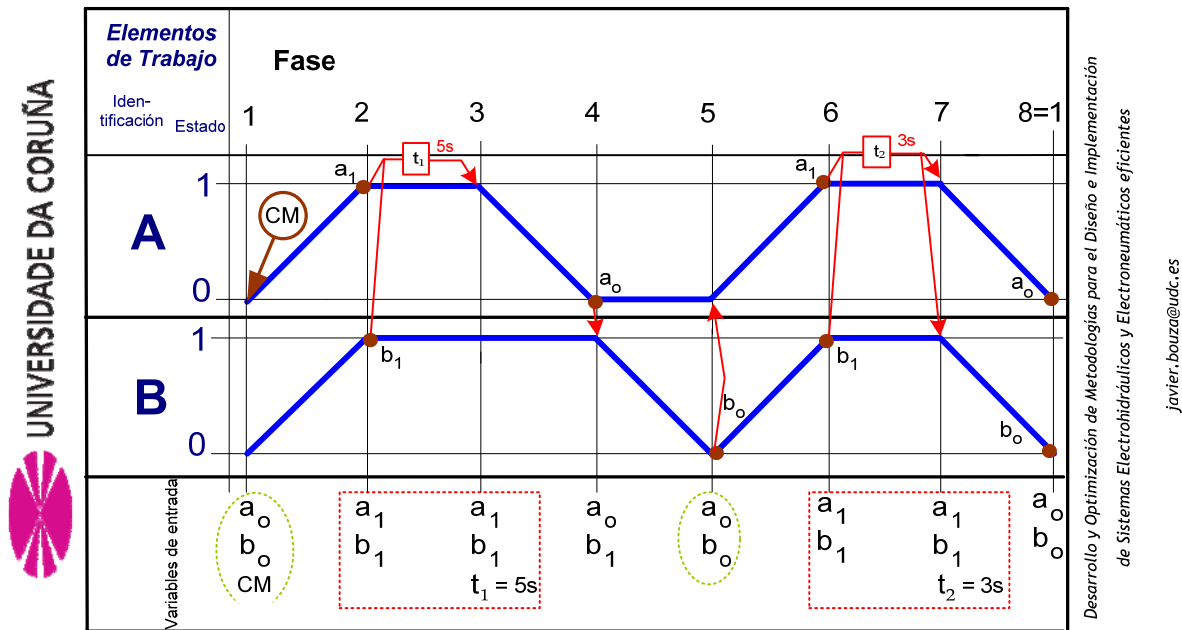


Figura 6.5.5.1.- Diagrama espacio-fase sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B-

La primera propuesta, para esta secuencia, parte de los siguientes hechos:

- i. Que la orden 5 tiene semejanza con la condición de reposo y, por tanto, se ha de emplear una memoria activada para diferenciarla de este estado.
- ii. Y que las temporizaciones serán una variable más de las órdenes de mando. Así, las órdenes 3 y 7 pueden incluir en sus ecuaciones el estado activo de las temporizaciones iniciadas en las etapas 2 y 6, respectivamente. Y en este sentido: por un lado, aportan un elemento diferenciador pero también, y en este caso concreto, precisan de la memoria auxiliar para diferenciar el inicio de las temporizaciones.

Y el diagrama de mando simplificado es:

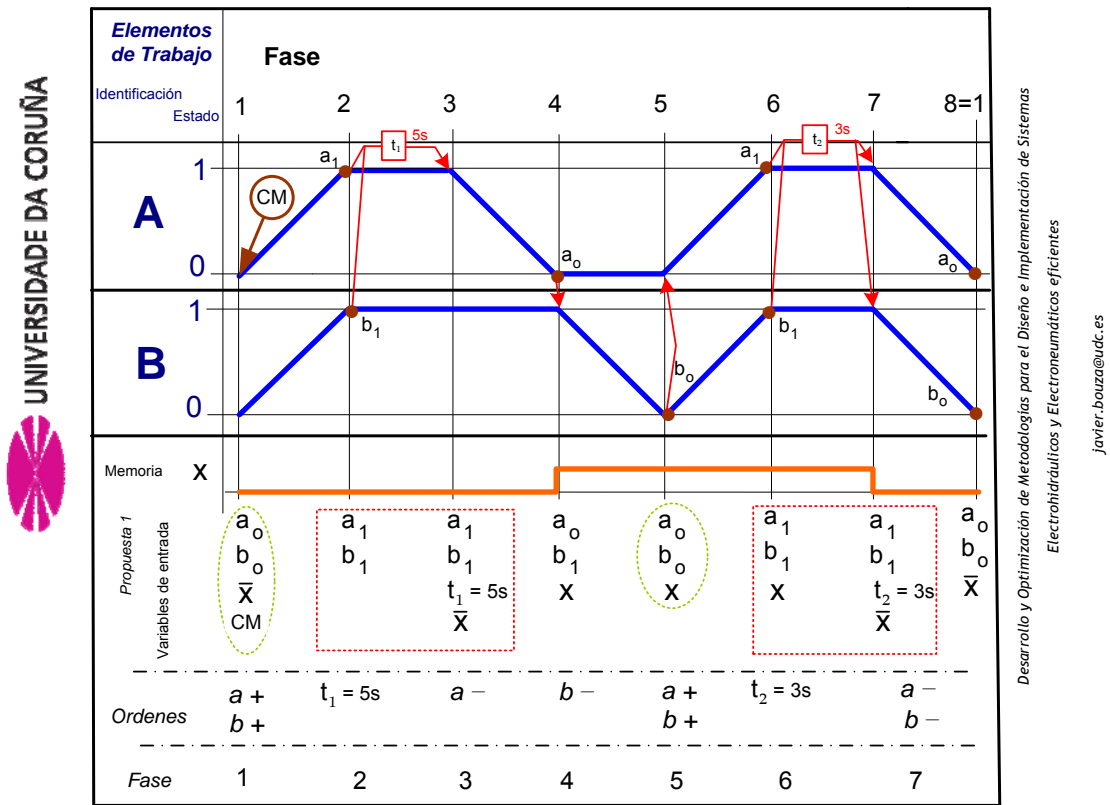


Figura 6.5.5.2.- Diagrama simplificado sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 1.

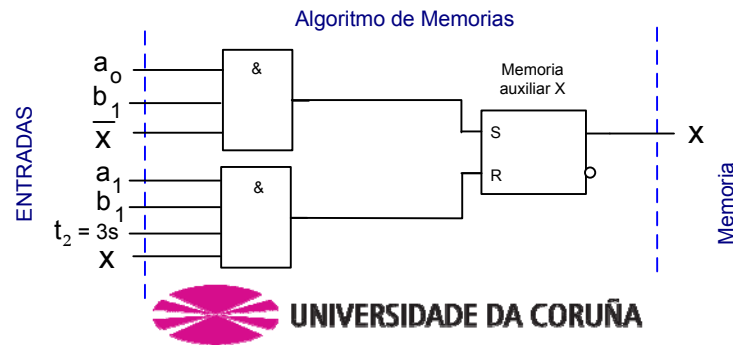


Figura 6.5.5.3.- FBD de memorias sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 1.

La segunda propuesta, se plantea con dos memorias auxiliares respondiendo al criterio “con  $n$  memorias auxiliares binarias se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas”. De esta forma, se garantiza un número correcto de memorias auxiliares para la solución del sistema, aunque no sea el menor posible.

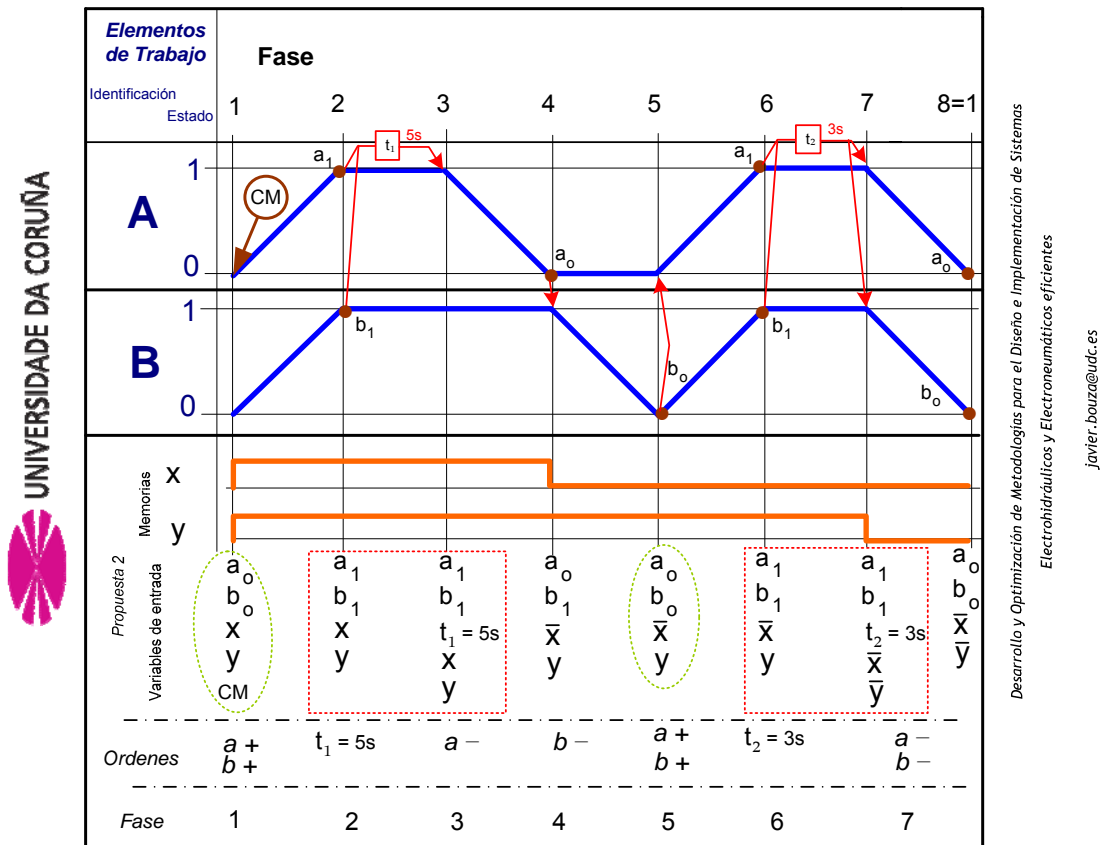


Figura 6.5.5.4.- Diagrama simplificado sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 2.

Esta segunda propuesta, como se aprecia en el diagrama de mando simplificado, establece las dos memorias auxiliares de forma cruzada. Y sus ecuaciones, se muestran en lenguaje FBD:

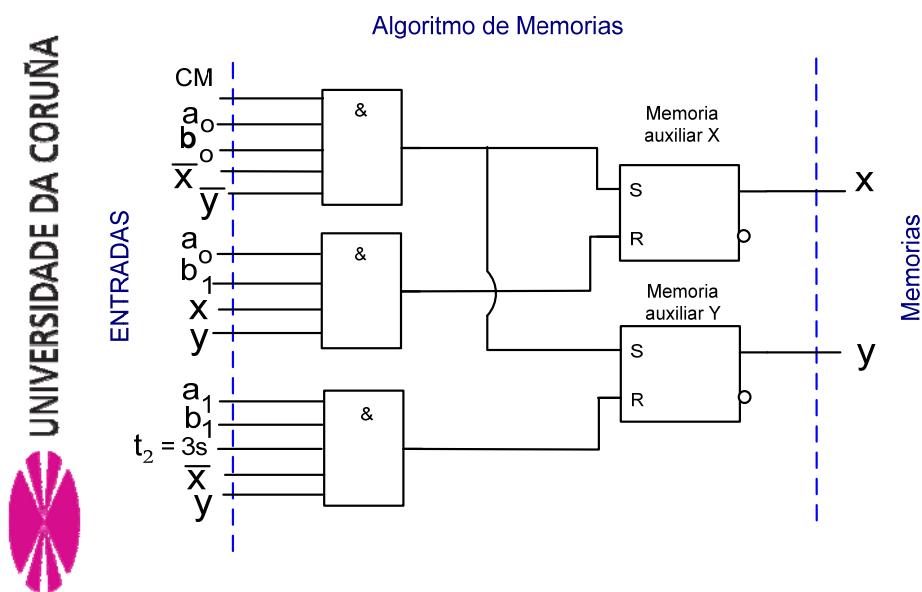


Figura 6.5.5.5.- FBD de memorias sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 2.



En la tercera y última propuesta, se plantea que las dos memorias auxiliares empleadas no se crucen y que sean consecutivas. Así, en la etapa 4, se ejecuta: primeramente la desactivación de la memoria “x”, luego la activación de la memoria “y” y, finalmente, se realiza la orden de mando 4

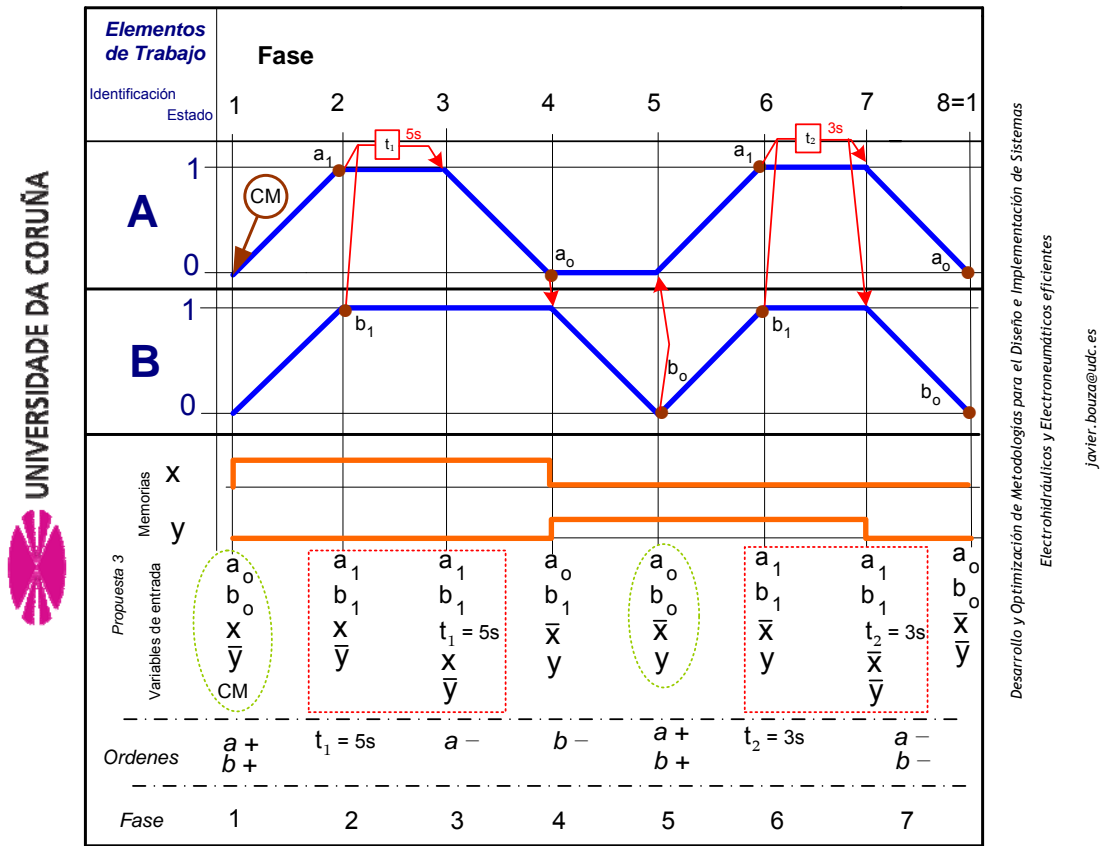


Figura 6.5.5.6.- Diagrama simplificado sec. A+B+ A- B- A+B+ A-B- propuesta 3.

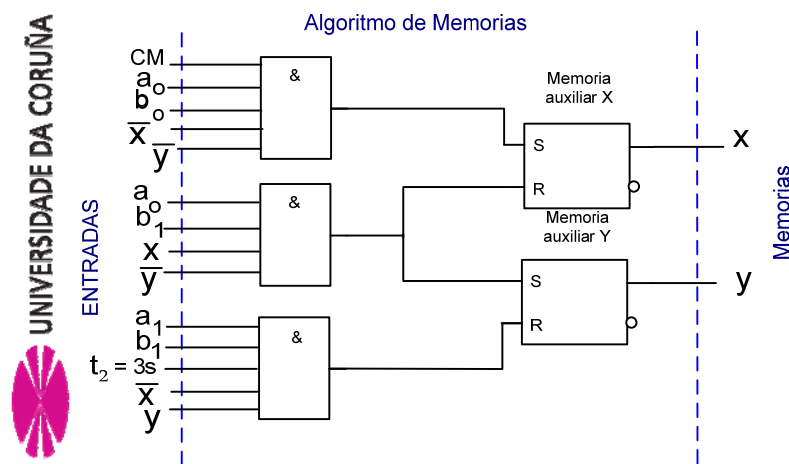


Figura 6.5.5.7.- FBD de memorias sec. A+ B+ A- A- B- A+ B+ A-B- propuesta 3.

En resumen, del caso IV, se reafirman los postulados anteriores y se añade:

*Que las secuencias, que presentan condiciones de temporización o retardo, podrán emplear las mismas para completar y diferenciar las órdenes de mando. Y en este sentido: por un lado, aportan un elemento diferenciador pero, también, pueden precisar de memorias auxiliares para distinguir el rango de sus temporizaciones.*

## 6.5.6 Minimización de algoritmo de control

### 6.5.6.1 Generalidades

La idea de la minimización de los métodos combinatoriales se suscita por su aplicación a los sistemas de control poco adaptables, como son los sistemas cableados. En estos, los costes dependen de los componentes que lo forman y del número de conexiones. En este tipo de controladores es importante minimizar el algoritmo con objeto de reducir su complejidad pero, siempre, en una proporción correcta que no minimice la fiabilidad y la seguridad.

La minimización en los sistemas de control programables puede parecer, en un principio, un factor irrelevante debido a su capacidad y a su adaptabilidad, pero puede ser de interés para el diseñador para así simplificar la complejidad de la solución. Esto agiliza las labores de supervisión y de mantenimiento. Esta minimización nunca debe condicionar los aspectos de fiabilidad y seguridad de la solución combinatorial origen.

Por todo lo anterior y con el objetivo de seguir optimizando la solución de control programable, para los sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos, se profundiza en ciertos aspectos a tener en cuenta a la hora de minimizar. Así:

1. El número de memorias auxiliares necesarias: En este sentido, se parte de la premisa “Con  $n$  memorias auxiliares, de dos valores, se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas”. Esto permite marcar el número correcto biestables RS a emplear. Este valor podría ser menor dependiendo de la propia secuencia y sus condiciones de entrada. Pero será necesario analizar de manera exhaustiva la reducción de memorias y sus consecuencias mediante el contraste de Diagrama simplificado de mando y las definiciones de las memorias.
2. La configuración y el rango de las memorias auxiliares empleadas: Por un lado, hay que evitar las activaciones y las desactivaciones de memorias en etapas que sufren problema de semejanza y, por otro, abordar los períodos que más minimicen la complejidad del algoritmo. Así, la desactivación de una memoria en el final de etapa podrá evitar tener que introducir una instrucción de reseteo expreso para tal fin; o “el entrelazar consecutivamente dos memorias” permite emplear una única señal para desactivar una memoria y activar la siguiente.
3. El emplear la condición de marcha, “CM”: Permite minimizar el número memorias, pero requiere para su aceptación de un análisis exhaustivo del diagrama simplificado de mando y de las definiciones de las memorias.
4. No debe alterar el efecto de las órdenes de mando y de las memorias auxiliares susceptibles de presentar problemas de semejanza. Y preservando esta premisa:
  - a. En aquellas órdenes de mando que no presentan semejanza se podrán prescindir de las memorias auxiliares o parte de ellas en su definición. Un criterio intermedio será sólo mantener las memorias activadas en su definición.
  - b. Para la definición de cada memoria auxiliar no será necesario tener en cuenta su estado precedente desactivado. La justificación de esta decisión reside en que, posteriormente, en el programa de

control se definirá una primera instrucción que reinicializa, en el comienzo del primer ciclo de programa, las memorias empleadas. Además, cuando se finaliza correctamente la secuencia, todas las memorias empleadas deben estar desactivadas. Y cualquier otra situación operativa, como el rearme, finalizará reseteando las memorias. Si bien, la redundancia no estará nunca de más, su no inclusión está controlada por las medidas de programación adoptadas.

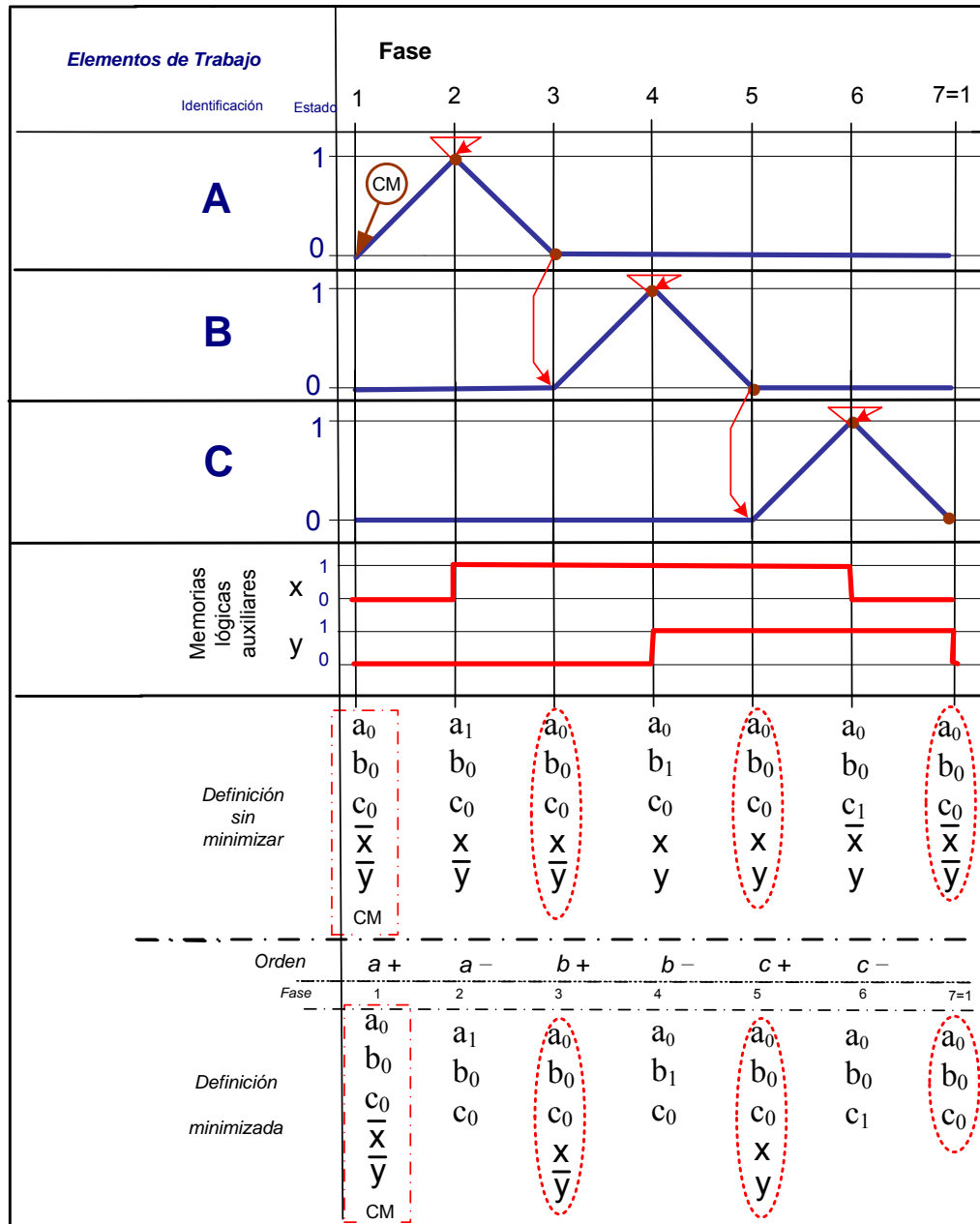
5. Con las condiciones de operatividad (marcha, paro, rearme,...) y las exigencias de seguridad con que se desarrolla el sistema sólo es recomendable la minimización si se hace un estudio exhaustivo e individual de cada condición. La minimización de estas condiciones nunca debe afectar a su operatividad y fiabilidad.
6. El software y el lenguaje de programación empleado. En este sentido, si bien los controladores usan lenguajes estandarizados, cada fabricante disponen de recursos o instrucciones propias en su software de codificación que minimizan tanto la transcripción del programa como el tamaño.
7. Y por último, no se debe olvidar que una minimización puede dar lugar a un replanteamiento de la ubicación de las memorias auxiliares empleadas con objeto de optimizar aún más la solución. En este caso, será necesario estudiar el nuevo contexto ocasionado mediante el diagrama simplificado de mando y las definiciones de las memorias.

#### **6.5.6.2 Casos prácticos**

##### **6.5.6.2.1 Caso I**

De la secuencia estudiada en el caso I, del Método combinacional II, se va poner en práctica la minimización. En este caso, como se estudio

anteriormente, se dispuso dos memoria “x” e “y” con el objetivo de resolver la semejanza. En esta primera minimización: se prescinde de las memorias auxiliares que no están presentes en la semejanza de órdenes, se emplea la CM como variable diferenciadora de la orden de inicio y se estudia el rango y la configuración de las dos memorias auxiliares.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bauza@udc.es

Figura 6.5.6.2.1.1. - Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- minimizada opción 1.

Indicar que la orden 1 no se ha minimizado al valor “ $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0 \bullet CM$ ” por las razones de seguridad implícita. Así, si bien quedaría diferenciada de las otras órdenes semejantes por la entrada de CM, podría ser activada esta señal por error, una vez iniciada la secuencia. Y en concreto, al inicio de la etapa 3 o 5, lo cual provocaría que se ejecutara el avance del cilindro A y, en consecuencia, se incumpliera el correcto funcionamiento de la secuencia

En cuanto, a las memorias auxiliares se compara la solución minimizada y sin minimizar:

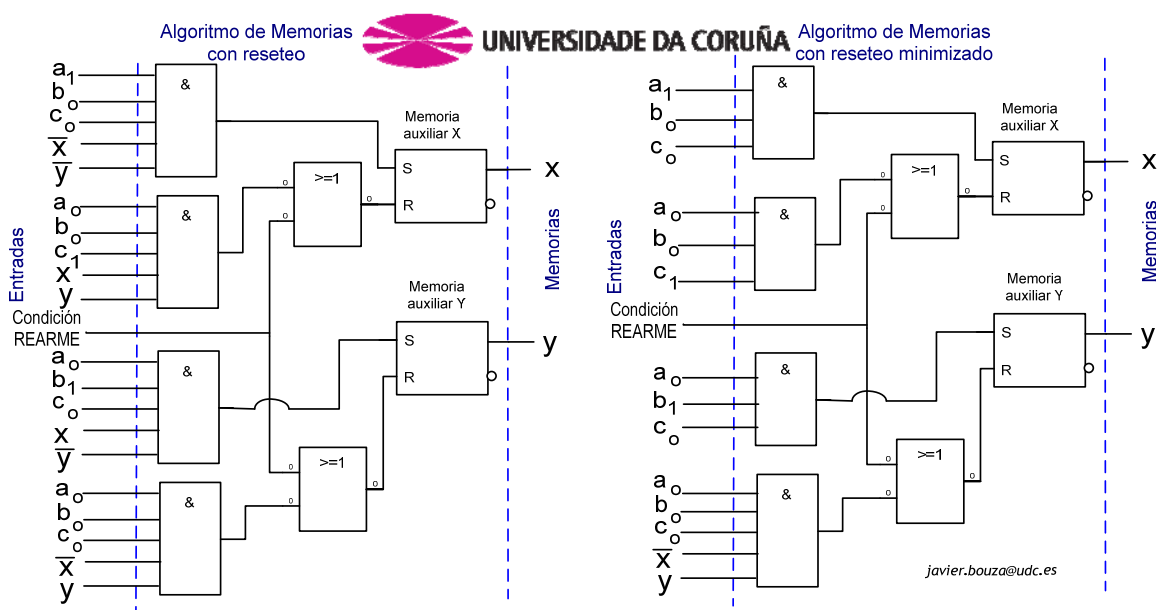
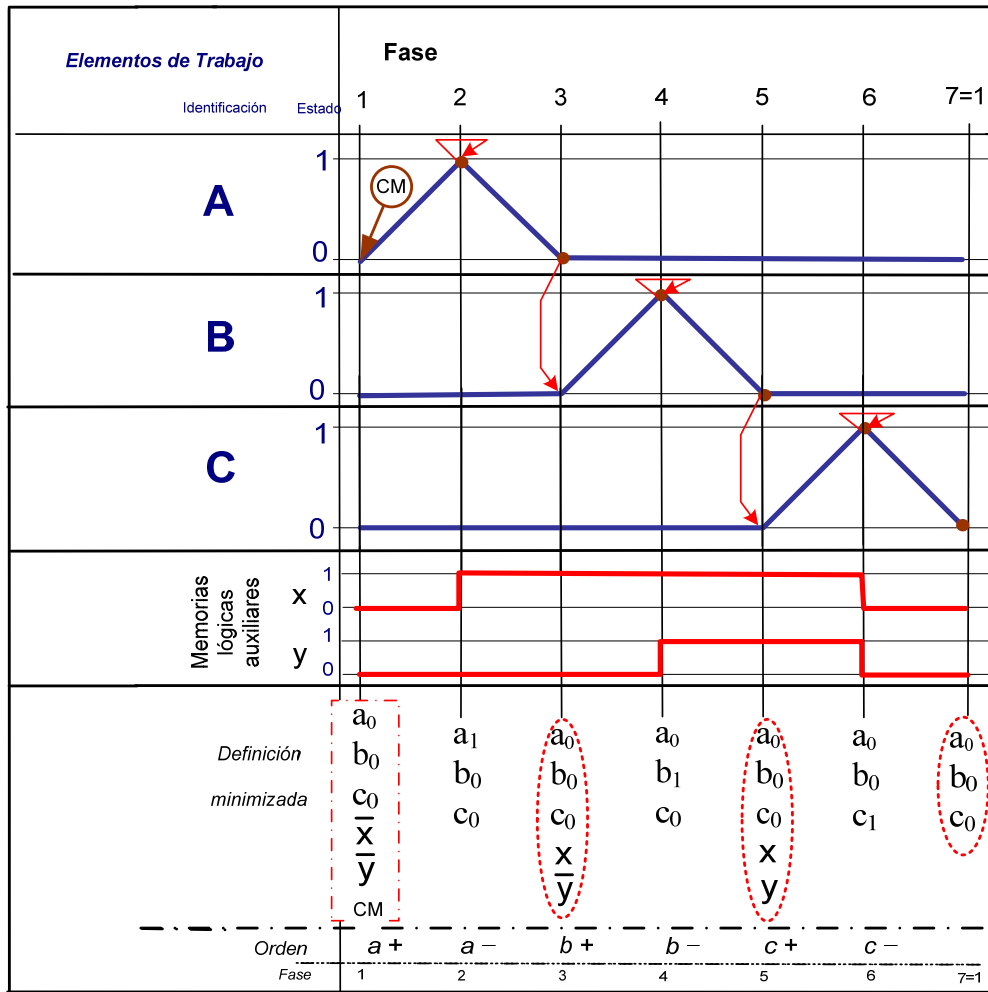


Figura 6.5.6.2.1.2.- FBD comparativo de memoria sec. A+ A- B+ B- C+ C- opción 1.

Es interesante ver que la orden de desactivación de la memoria “y” no se debe simplificar (es decir,  $a_0 \bullet b_0 \bullet c_0$ ) ya que produciría la desactivación de la memoria “y” en la etapa 5 y regeneraría la problemática de semejanza de las órdenes 3 y 5. De esto último, surge una nueva propuesta para la ubicación de las memorias auxiliares, que cumple con el criterio de buenas prácticas de “ubicar la activación y desactivación de memorias en etapas donde no existe problemática de semejanza y que simplifica aún más el programa de control.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.5.6.2.1.3. - Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- minimizado opción 2.

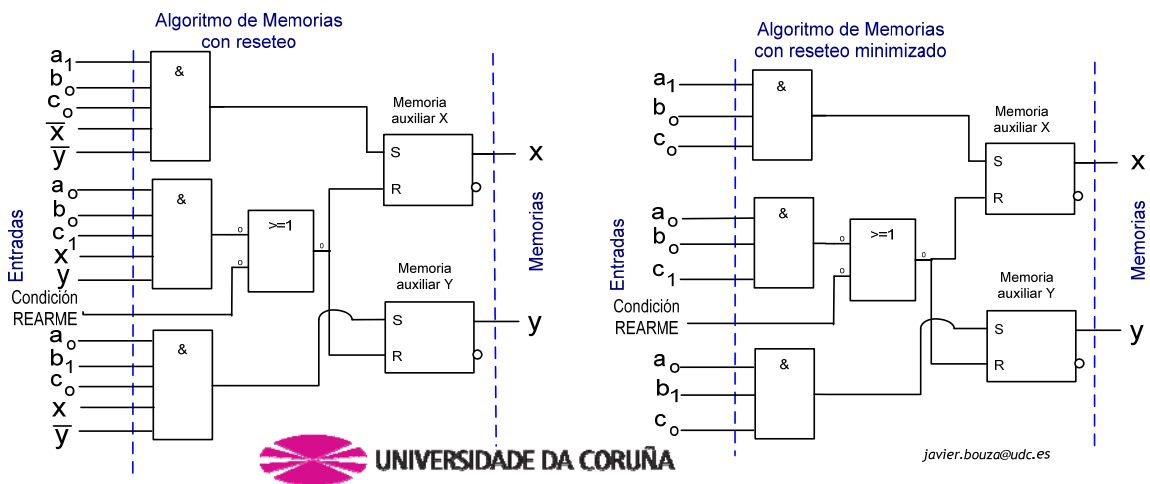


Figura 6.5.6.2.1.4.- FBD comparativo de memoria sec. A+ A- B+ B- C+ C- opción 2.

6.5.6.2.2 Caso II.

De la secuencia estudiada en el Método combinacional II y caso III, se va a poner en práctica la minimización. En este caso, como se estudio anteriormente, se dispuso una segunda memoria “y” con el objetivo de evitar la semejanza en la definición de la memoria “x” (y distinguir su rango de activación sin confusión) y para solventar el problema de la semejanza de la orden 3 con el estado de reposo. Y preservando estos condicionantes, se presenta la siguiente minimización que emplea una sola memoria en las órdenes de mando y la CM como variable diferenciadora. Además, reduce la condición de rearme sin afectar a su operatividad y seguridad.

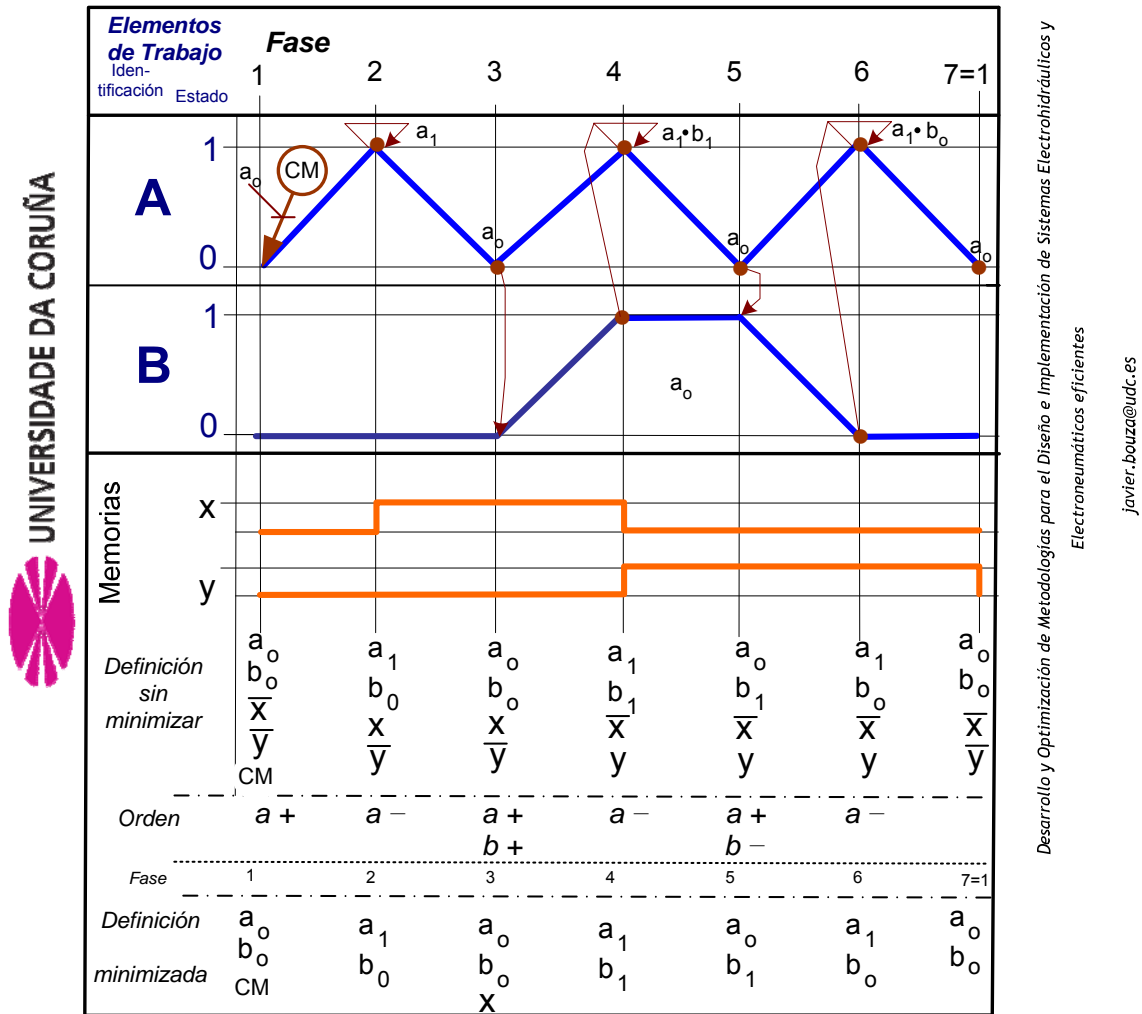


Figura 6.5.6.2.2.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- A+B+ A- A+B- A- minimizada.



En esta minimización, se prescinde de las memorias “x” e “y” en todas las órdenes salvo en la orden 3. Y si bien, reaparece la semejanza entre la orden 2 y 6, no se origina problemas ya que el efecto de ambas órdenes es único y el mismo (recogida del actuador A). En cambio, si se considerará el estado de las memorias auxiliares para la definición de las órdenes 2 y 6, el controlador tendrá capacidad para identificar si se está realizando la primera o la segunda recogida de A.

En lo referente a las memorias auxiliares, se compara la solución minimizada y sin minimizar.

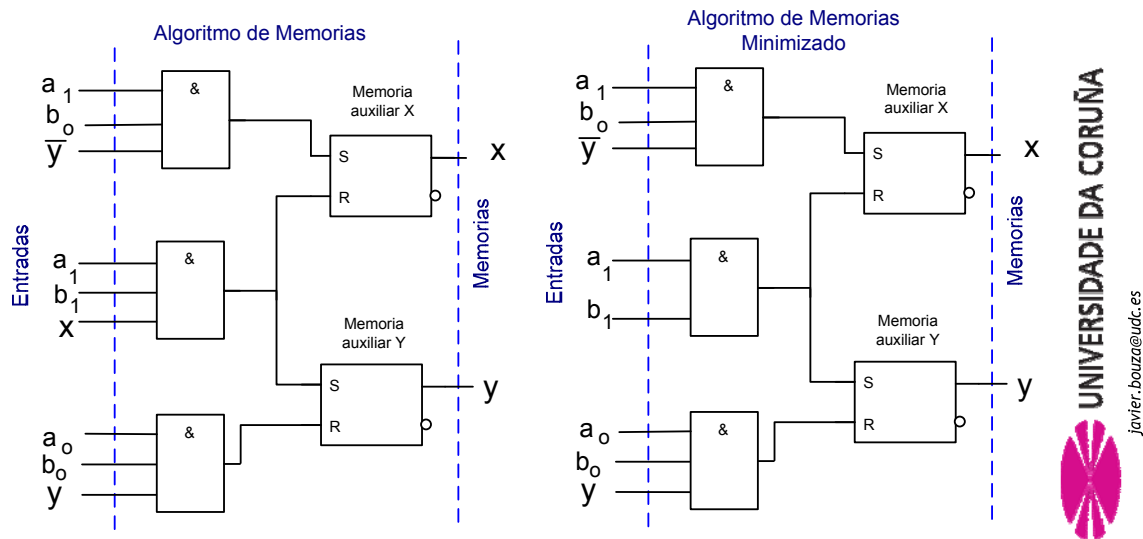


Figura 6.5.6.2.2.2.- FBD comparativo de memoria de sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A-

Como se observa, el cambio es mínimo, en la desactivación de la memoria “x” o activación de la memoria “y”. Señalar que no es posible quitar la variable “y negada” de la definición de la activación de la memoria “x” porque sino se produciría una nueva activación de esta memoria en la etapa 6 (y el consiguiente incumplimiento de la secuencia).

A continuación, se trata la minimización de una de las condiciones operativas del mando (posteriormente se tratará en profundidad las mismas): “La condición de rearme”. Esta condición coloca a los actuadores en situación inicial y resetea las memorias auxiliares. Y el objetivo es realizar la

minimización de manera que no afecte a su operatividad y seguridad. En la siguiente figura: en la izquierda se muestra el algoritmo de las memorias con la condición de rearme y en la derecha su minimización. Como se aprecia, la condición de rearme tiene que disponer su entrada para resetear la memoria “x”. Pero, se puede prescindir de hacerlo para la memoria “y”, ya que el rearme de la máquina implicará poner a los actuadores en condición inicial. Y en consecuencia, también, se reseteará la memoria “y”.

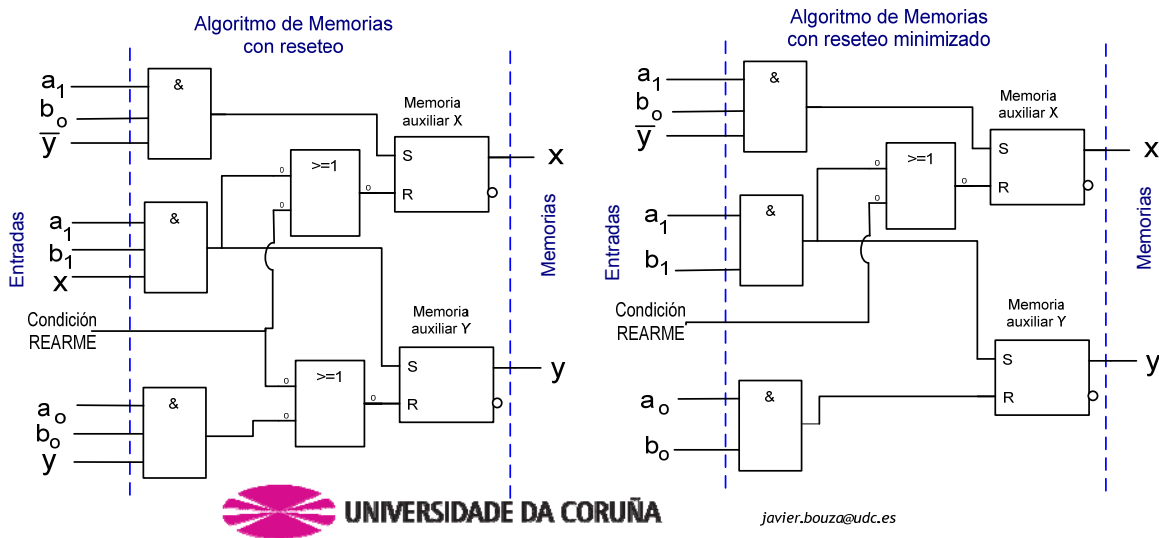


Figura 6.5.6.2.2.3.- FBD comparativo de memoria sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A- con reseteo.

6.5.7 Resumen del Método Combinacional II

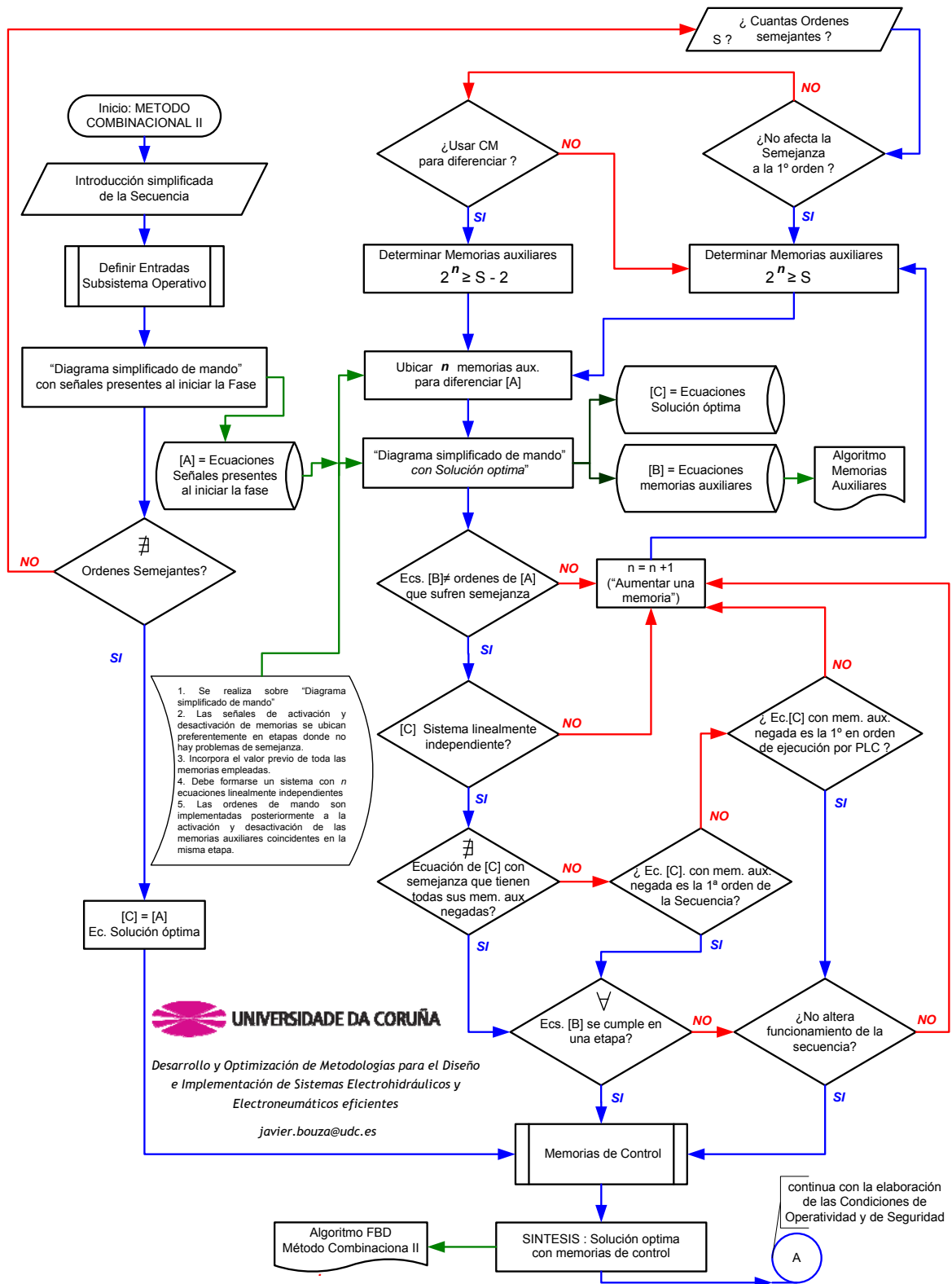


Figura 6.5.7.- Flujoograma del Método Combinacional II

## 6.6 Implementación de las condiciones operativas y de seguridad

### 6.6.1 Introducción

Hasta el momento, se ha trabajado el primer bloque del procedimiento de Síntesis expuesto en el capítulo IV. El objetivo ha sido buscar la solución del algoritmo de control que permita al sistema oleoneumático desarrollar su secuencia de funcionamiento. Pero en todo diseño de un mecanismo industrial se han de tener en cuenta las diferentes condiciones de servicio (automático, manual, ciclo continuo,...), condiciones de mantenimiento (ajuste, puesta a punto,...) y condiciones de seguridad (medidas y alertas para evitar riesgo humano,...). A continuación y siguiendo el procedimiento definido en el Capítulo IV, se estudiará el segundo bloque de la Síntesis. Y, en consecuencia, como implementar las condiciones de operatividad y seguridad sin perder la visión total del funcionamiento del sistema y en conjunción con el circuito fluídico de potencia a emplear.

Para desarrollar este segundo bloque de Síntesis:

- i. Se ha partido de un mando básico que cualquier máquina electrohidráulica o electroneumática debe al menos disponer.
- ii. El desarrollo se acompaña de una experimentación de las situaciones de operación o anomalías que aseguren que los resultados son confiables.

Y este segundo bloque, se implementa con cuatro casos que incluyen el circuito fluídico de potencia:

- 1) Paro con corte de energía fluídica y reseteo de las memorias de control.
- 2) Paro con corte de energía fluídica y mantenimiento de las memorias de control.
- 3) Paro con mantenimiento de la energía fluídica y de las memorias de control.

- 4) Paro con mantenimiento de la energía fluídica y de las memorias de control con inercias elevadas.

Estos cuatro modelos ejemplarizan las condiciones de operatividad y seguridad que deben presentar, al menos, los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos diseñados en esta Tesis y que pretenden responder a la realidad industrial. Los resultados permitirán no sólo generalizar para otras condiciones, tanto de operatividad como de seguridad, sino estandarizar en:

1. los denominados, en esta Tesis, “Bloques de Función definidos”. Que son bloques lógicos predefinidos que permitirán desarrollar las condiciones de operatividad y seguridad en conjunción con el programa de funcionamiento de manera eficiente.
2. El circuito fluídico de potencia adecuado a las condiciones de operatividad y seguridad requeridas.

#### 6.6.2 Condiciones operativas y de seguridad del mando

En los diseños realizados, en este trabajo de Tesis, se han definido las siguientes condiciones operativas de mando y de seguridad:

*La Condición de Marcha o “CM”:* Es la orden que provoca el comienzo del funcionamiento del sistema electrohidráulico o electroneumático en el modo de operación seleccionado (manual, automático, etc.). Es frecuente, usar una única CM para diferentes modos de operación. Normalmente, viene establecida por un órgano de marcha (normalmente un pulsador o interruptor). Y puede o no estar acompañada del cumplimiento de las condiciones de reposo de los actuadores (que los sensores de presencia de las posiciones de inicio estén activados) o incluso de la presencia de la pieza a trabajar. Asimismo, la acción de la Condición de marcha está restringida, usualmente, por las condiciones de paro y de seguridad (ejemplo: detención de presencia humana).

También, la Condición de marcha puede ser empleada como orden de continuación tras una parada, independiente de la causa que lo produzca, siempre que no se presente riesgo alguno. Así, por ejemplo, es posible hacer un pausa en el proceso y luego, si cumplen las condiciones de seguridad, dar orden de continuación mediante la condición de marcha.

En el caso, de que la máquina necesitara disponer de varios órganos de puesta en marcha y si por ello los operadores pudieran ponerse mutuamente en peligro, se deberá prever dispositivos complementarios (dispositivos de validación o selectores que sólo permitan operar desde un único órgano y que señalicen tal hecho).

*El Modo de Operación:* En el diseño de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, son necesarios establecer diferentes modos de operación en función de su uso, aplicación o incluso para su ajuste o mantenimiento. La elección del modo de operación requerido se elige, frecuentemente, por un selector y este no debe habilitar la puesta en marcha de la máquina de manera automática. Debe ser necesario, además, cumplir la condición de marcha para el modo escogido (p.ej. que en el menor de los casos puede ser accionar el pulsador de marcha). Las medidas de seguridad y protección deben permanecer operativas en todos los modos de operación. Y, sólo, bajo condiciones muy especiales y controladas por el operador será posible la anulación de las mismas o parte de ellas.

Habitualmente, los sistemas combinatoriales automatizados, suelen disponer al menos de los siguientes modos de funcionamiento:

- *Modo automático:* Modo de funcionamiento normal, para el cual el sistema ha sido diseñado. Cuando se ejecuta la condición de marcha, el sistema permanece funcionando de forma ininterrumpida hasta que se produce una orden de parada, que detiene el sistema al final del ciclo en curso. Si se trata de una

parada de emergencia debe parar de inmediato la ejecución del ciclo, sea cual sea la situación.

- *Modo semiautomático (o “ciclo a ciclo”)*: Cada vez menos habitual en los sistemas automatizados actuales. Y es aquel donde sólo una parte del sistema opera sin intervención humana. Esta participación humana, aun sigue estando presente en máquinas herramientas pequeñas, p. ej., en la colocación de la pieza.
- *Modo ciclo único*: Modo automático que ejecuta un solo ciclo de programa. El requisito previo es que se cumplan ciertas condiciones iniciales y la activación, por parte del operador, de la condición de marcha.
- *Modo ciclo continuo*: Modo automático que ejecuta un determinado número de ciclos de programa siempre que se cumpla la condición de iteración.
- *Modo manual*: El operador ejerce un control estricto sobre la ejecución de una etapa o conjunto de ellas en un mismo ciclo. Además, la ejecución de las órdenes podría estar condicionada por elementos de seguridad o de funcionamiento (ej. dispositivos de enclavamiento y/o bloqueo).
- *Modo ajuste*: Es un modo que permite al operador controlar individualmente los actuadores o componentes del sistema. A diferencia del modo manual, el modo ajuste permite eludir, en muchos casos, el uso de dispositivos de seguridad y enclavamiento. Por lo que el modo de ajuste debe ser utilizado únicamente por personal especializado.

*La Condición de Paro:* Debe interrumpir la operación de la máquina y puede ser o no una parada controlada. Como puede ser debida a diferentes causas, se distinguen tres categorías<sup>47</sup>:

- i. Parada de categoría 0 (o “Parada incontrolada”): es una parada de la máquina como resultado de un fallo en la tensión de alimentación de los distribuidores de potencia.
- ii. Parada de categoría 1: Parada controlada, en la que la alimentación de potencia a la máquina se mantiene para alcanzar la detención. Un vez se ha alcanzado la posición de parada, se interrumpe la tensión de alimentación;
- iii. Categoría de parada 2: Parada controlada, durante la cual se mantiene la alimentación de potencia de los distribuidores de potencia de la máquina.

Normalmente, se ordena la condición de parada al sistema de control por uno o varios dispositivos (pulsador, interruptor y/o sensor) con contactos normalmente cerrados para que se activen, sin ser accionados, en caso de fallo del suministro eléctrico. En la Condición de paro se podrán definir diferentes o diversos tipos de acción:

- i. Parada operativa: Activada la misma, la secuencia se finaliza en su etapa final.
- ii. Pausa: parada justo en el instante de su activación. La desactivación implica o la reanudación en el punto en el que paro o la posibilidad de rearmar el sistema.
- iii. Parada de emergencia: Debe provocar la parada del proceso en el menor tiempo posible, sin crear nuevos peligros.

Es importante resaltar los siguientes requerimientos sobre la condición de parada:

---

<sup>47</sup> se indica en UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.



- 1) Las condiciones de paro siempre tienen prioridad sobre las funciones de marcha que se hallen disponibles simultáneamente.
- 2) La eliminación de la condición de paro no debe generar ninguna condición de riesgo humano ni deterioro o malfuncionamiento del sistema electrohidráulico o electroneumático.
- 3) Un paro de las categorías 0 y 1 debe ser capaz de actuar independientemente del modo de funcionamiento.
- 4) Un paro de categoría 0 tiene la prioridad más alta sobre las funciones de control y modos de operación.
- 5) Toda máquina electrohidráulica y electroneumática debe estar equipado de una parada de categoría 0, y frecuentemente se realiza, a través, de la Parada de emergencia.
- 6) Los paros de categoría 1 y 2 deben habilitarse en aquellos casos en que hay razones funcionales o de seguridad y, generalmente, se realizan por medio del programa de control del PLC. De esta forma, la categoría 2 puede utilizarse para detener un proceso de producción (p. ej. retirar o situar una pieza) y el proceso interrumpido se reanudará accionando un pulsador de marcha. Si el proceso, en cambio, no debe detenerse inmediatamente (p. ej. debido a condiciones de riesgo o seguridad) puede realizarse por medio de un paro de categoría 1.

*La Parada de emergencia:* Si bien es un tipo de paro, es conveniente tratarlo de manera específica por su función y por ser de obligado cumplimiento en cualquier máquina industrial. Debe provocar la parada del proceso en el menor tiempo posible, sin crear nuevos peligros. Eventualmente, puede desencadenar o permitir determinados movimientos de protección. El órgano de parada de emergencia, un interruptor con enclavamiento y contacto normalmente cerrado (denominada “seta de emergencia”), debe ser robusto, fiable y estar

disponible en todas las posiciones en las que pueda ser necesario accionarlo. Cada máquina electrohidráulica o electroneumática estará provista de uno o varios órganos de parada que no deberán poder bloquearse sin que se genere una orden de parada. Y su desbloqueo no deberá volver a poner en marcha la máquina, sino sólo autorizar que pueda volver arrancar. Además, como se indica en la Norma de Seguridad de Máquinas EN IEC 60204-1, la Parada de Emergencia no deber ser estrictamente el medio fundamental para la reducción de riesgos sino una “medida protectora complementaria”.

*La Condición de Seguridad:* debe actuar en cualquier etapa de la secuencia y debe garantizar la seguridad del operador que interactúa con la máquina. Como se ha indicado, es independiente de la Parada de emergencia. Y obviamente, es necesario conocer la legislación y normas básicas de la Seguridad de las máquinas y procesos a diseñar, con especial atención a los requisitos de seguridad específicos. Pero en opinión del autor de esta Tesis, *el “limitar la seguridad al simple cumplimiento normativo” parece un intento de simplificación del mundo de la ingeniería.* Y en muchos casos, es difícil de creer que a través de unos documentos simples y sencillos de aplicar cualquier Técnico del mundo sea capaz de definir los medios necesarios, eficaces y fiables para la seguridad. Por ello, es necesario tanto determinar los límites de la máquina, identificar los posibles riesgos y evaluarlos, como realizar una experimentación exhaustiva de las medidas de seguridad adoptadas. Así, a modo de ejemplo, entre las posibles circunstancias: se debe contemplar el uso indebido del sistema diseñado, o que una persona no cualificada utilice la máquina o que se encuentre en el lugar de trabajo (personal de limpieza, seguridad,...), etc.

En resumen, cuando se habla de una condición de seguridad se vincula a dispositivos y medidas cuya finalidad es la seguridad en las máquinas. Estos deben permitir, al subsistema de mando programable,

prever las situaciones potencialmente peligrosas y, en consecuencia, ordenar las acciones para llevar el sistema a un estado seguro.

Y en este sentido, un objetivo primordial de los métodos, expuestos en esta Tesis, es diseñar e implementar sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos fiables y seguros.

*La Condición de Rearme:* Su activación situará al sistema en condiciones iniciales, afectará tanto al subsistema de control (PLC) como al subsistema de operación (distribuidores, actuadores, etc.). En muchos casos, la activación de la condición de rearme esta restringida por otras condiciones como son, al menos, las de paro y de seguridad. En este trabajo de Tesis, esta condición se caracterizará por su desactivación de manera automática cuando se ejecute correctamente.

Por último indicar, que las condiciones de operación y seguridad se implementan de dos formas:

1. las producidas sobre el propio programa de control y, en consecuencia, sobre el subsistema de control. Por ejemplo, en el caso de de petición paro, el algoritmo de mando debe memorizar tal hecho, cancelar las órdenes de mando existentes y ordenar el paro y notificar su activación al operador;
2. y las producidas sobre la parte operativa. En este caso, el diseño y selección adecuada de los elementos fluídicos de potencia empleados serán decisivos y, por tanto, es necesario un conocimiento profundo de esta tecnología. Así, en neumática, el paro con actuadores de poca inercia en un circuito con electroválvulas de dos estados (bien sean de tipología monoestable o biestable) se podrá realizar con el corte o desconexión de la energía fluídica y el empleo de válvulas antirretorno desbloqueables que garanticen la paralización de los actuadores de manera adecuada. En oleohidráulica, es necesario valorar la carga de

los actuadores y la tipología de los distribuidores de potencia empleados. Aspectos, como los tratados en el capítulo V, sobre los distribuidores de potencia serán fundamentales: sus posiciones, su sobreposición en la conmutación, su tipo de accionamiento y su tiempo de respuesta.

### 6.6.3 Medidas de diseño inherentemente seguras

Este apartado, se ha introducido con objeto de reseñar y hacer ver que algunos riesgos se pueden evitar con la implantación de medidas sencillas en el diseño, tanto en el mando como en la parte operativa del sistema.

En el mando deberá diseñarse y construirse de manera:

- i. Que no produzcan situaciones peligrosas, en caso de error, en la lógica en la maniobras.
- ii. Que prevea, en la medida de lo posible, actuaciones en caso de “malfuncionamiento” de elementos del sistema (sensores, órganos de mando, etc.)
- iii. Que resistan las condiciones normales de servicio y las influencias externas.

Así, tanto el Método combinacional I como II potencian el diseño inherentemente seguro ya que no sólo eliminan errores en la lógica de funcionamiento (señales permanentes y señales semejantes) sino que aumentan la seguridad por “malfuncionamiento”. Así, se ha visto que las soluciones combinatorias que optan por el uso de los sensores presentes al iniciarse la fase, “solución óptima”, así como el uso de “memorias de control” mejoran ostensiblemente la seguridad de la máquina sin suponer un incremento constructivo y económico. En cuanto al segundo aspecto, se deben abordar aspectos como grados de protección de los componentes, vibraciones e interferencias de todo tipo (eléctricas, magnéticas,...).

En el caso del sistema operativo y de sus acciones, es importante recordar algunas de las disposiciones definidas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo<sup>48</sup>, en cuanto a los actuadores de trabajo (cilindros, motores,...):

- Serán claramente visibles e identificables y, si fuera necesario, irán marcados de forma adecuada.
- Estarán colocados de tal manera que se pueda maniobrar con seguridad, sin vacilación ni pérdida de tiempo y de forma inequívoca.
- Se diseñarán de tal manera que el movimiento del órgano de accionamiento sea coherente con el efecto ordenado.
- Estarán colocados fuera de las zonas peligrosas excepto, si fuera necesario, ciertos órganos, tales como una parada de emergencia, una consola de aprendizaje, etc.
- Estarán situados de forma que su maniobra no acarree peligros adicionales.
- Estarán diseñados o irán protegidos de forma que el efecto deseado, cuando pueda acarrear un peligro, no pueda producirse sin una maniobra intencional.
- Estarán fabricados de forma que resistan los esfuerzos previsibles; se prestará una atención especial a los dispositivos de parada de emergencia.

A mayores, uno se debe preguntar para el sistema electroneumático y electrohidráulico a construir:

- i. *¿se puede eliminar la acción que genere el riesgo?* Así, en algunos casos se puede eliminar mediante la automatización de algunas tareas (como p.ej. la retirada de la pieza, la carga de la máquina, etc.);

---

<sup>48</sup> Resumen del Anexo I: Disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo del RD 1215/1997

- ii. Y por otro lado *¿se puede eliminar el peligro?* Por ejemplo, si se aumenta la distancia del operador con respecto a los actuadores se evita el aplastamiento de partes de cuerpo. O si se reducen las fuerzas, las velocidades y las presiones se pueden reducir los riesgos por lesiones.

*“Todo ello se debe analizar con exhaustivo detenimiento, ya que los cambios con objeto de sustituir un peligro en el diseño pueden suscitar o generar otros riesgos o problemas”.*

Además, las medidas adoptadas de diseño inherentemente seguro nunca deben ser justificación para prescindir de la protección que toda máquina debe cumplir para evitar que las personas entren en contacto con los peligros. O bien, para reducir los peligros a un nivel seguro antes de que las personas puedan entrar en contacto con ellos. Y en ese sentido, se incluyen por ejemplo, la detección de presencia, las protecciones fijas, las guardas con enclavamiento, etc.

#### **6.6.4 Criterios de prioridad para las condiciones de operación y de seguridad**

Para empezar a desarrollar el mando básico del sistema electrohidráulico y electroneumático, se debe establecer un criterio de prioridad en las condiciones de operación y de seguridad. Así, se puede considerar que el Paro debe dominar sobre la Marcha y el Rearme. Y que estas dos últimas operaciones están al mismo nivel o que la Marcha domine sobre el Rearme, más habitual. Por tanto, si se activará simultáneamente las tres condiciones, en caso de error humano o de fallo de uno o varios de sus elementos, dominaría el Paro lo cual haría al sistema inherentemente más seguro. Otras veces, puede interesar condiciones de prioridad diferentes: que la Condición de Marcha domine sobre el resto, esto es de especial interés en los equipos o mecanismos donde es necesario la finalización de una etapa o proceso o la situación del equipo en un estado seguro que garantice la seguridad.

En principio se establecerá para el mando básico los siguientes criterios:

1. El Paro domina sobre la Marcha y el Rearme. Y estas dos últimas operaciones están al mismo nivel.
2. La Condición de Paro estará activada por las entradas de Paro y las Condiciones de Seguridad del sistema y dominará sobre el resto de las condiciones operación.
3. Las entradas de paro y de seguridad se implementará a través de contactos normalmente cerrados con objeto de garantizar su activación en caso de fallo eléctrico.
4. En cualquier etapa o circunstancia de la máquina podrá ser activado el Paro y su condición. Y su desactivación no pondrá, de nuevo, al sistema electrohidráulico o electroneumático en funcionamiento.
5. La Condición de Marcha pondrá al sistema en funcionamiento normal siempre que la Condición de Paro o de Seguridad no estén activadas. Podrá disponer de distintos modos de operación (ciclo único, ciclo continuo, etc.). Pero su acción debe terminar con la finalización del ciclo y situando a la máquina en estado natural de reposo.
6. La Condición de Rearme: Dispondrá de una entrada de rearme y una condición identificativa de la misma. Su petición sólo podrá realizarse previamente parada la máquina y si las Condiciones de Paro y de Seguridad no están activadas. Su acción hará que el sistema se ponga en funcionamiento para situar a los actuadores en condiciones iniciales y reseteará todas las memorias de control. La desactivación de la Condición de Rearme se realizará automáticamente cuando se ejecute correctamente la acción o cuando se active el paro o la seguridad de la máquina.

6.6.5 Caso I: PARO con corte de energía fluidica y reseteo de memorias de control

A continuación se ensaya con la siguiente secuencia con dos actuadores:

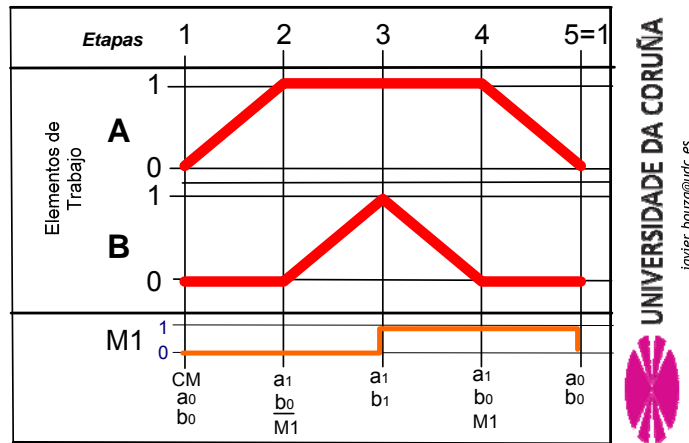


Figura 6.6.5.1.- Diagrama simplificado Caso I

Las entradas, salidas y memorias empleadas en el programa de control son:

Tabla 6.6.5.1.- Entradas Caso I

| Entrada | Designación    | Observación  |
|---------|----------------|--|
| I1      | CM             | Pulsador de Marcha (NA) <sup>49</sup>  |
| I2      | a <sub>0</sub> | Sensor reed (NA)   |
| I3      | a <sub>1</sub> | Sensor reed (NA)   |
| I4      | b <sub>0</sub> | Sensor reed (NA)   |
| I5      | b <sub>1</sub> | Sensor reed (NA)   |
| I6      | PARO           | Interruptor de Paro (NC) <sup>50</sup>   |
| I7      | REARME         | Pulsador de Rearme (NA)  |
| I8      | PRESENCIA      | Condición de seguridad (NC) Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina |

Tabla 6.6.5.2.- Salidas Caso I

| Salida | Designación | Observación   |
|--------|-------------|---------------|
| Q1     | a -         | Actuación A - |
| Q2     | a +         | Actuación A + |

<sup>49</sup> NA = normalmente abierto

<sup>50</sup> NC = normalmente cerrado



| Salida | Designación      | Observación                                    |
|--------|------------------|--|
| Q3     | $b+ / b-$        | Actuación B + / (Actuación B - desactivada Q3) |
| Q4     | Energía Fluidica | Activa / Desactiva energía fluidica            |

Tabla 6.6.5.3.- Memorias Caso I

| Memoria | Designación | Observación         |
|---------|-------------|---------------------|
| M1      | M1          | Memoria auxiliar    |
| M2      | C_PARO      | Condición de Paro   |
| M3      | C_REARME    | Condición de Rearme |

A continuación, se presentan: la solución para el esquema funcional del sistema electro neumático y luego la solución del sistema electro hidráulico.

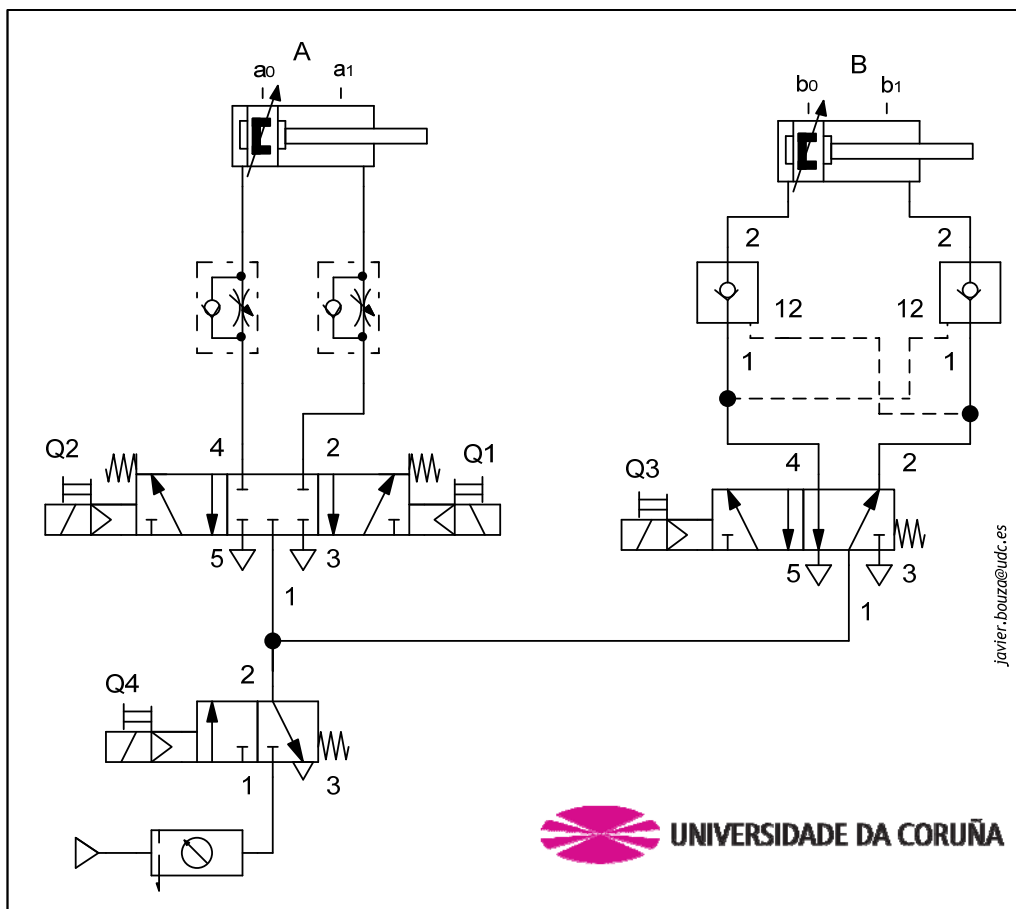


Figura 6.6.5.2.- Esquema funcional del sistema electro neumático - Caso I

Para implementar el circuito electroneumático se escoge:

- Para el actuador A: Cilindro de doble efecto con imán permanente en el émbolo, una electroválvula monoestable 5/3 con posición central cerrada, dos reguladores de caudal y dos detectores de posición magnética (tipo “reed”). Y se mantiene la energía fluidica, sobre el actuador, durante la posición de máxima carrera. Si bien, se podrá plantear que fuese la posición central del distribuidor la que mantuviese al actuador siempre que el período de retención sea breve.
- Para el actuador B: Cilindro de doble efecto con imán permanente en el émbolo, una electroválvula monoestable 5/2 con posición de reposo conectada para la recogida del actuador y dos válvulas antirretornos desbloqueables.
- Para el corte de la energía fluidica: una electroválvula 3/2 normalmente cerrada.

Indicar, que para este caso I y la solución electroneumática, el Paro se logra mediante el corte del aire. Esto puede producirse por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la “caída de la fuente de energía fluidica” (compresor o acumulador). Para realizar la parada controlada, en el actuador A, se ha empleado una válvula 5/3 servopilotada neumáticamente y accionada por bobina de una solenoide por ambos lados y con centraje por muelles. En caso de falta de aire o de control eléctrico, la válvula siempre se situará en posición central. Esto permitirá paralizar, de manera segura, actuadores con baja inercia. Para el actuador B, se ha escogido una válvula 5/2 servopilotada neumáticamente y accionada por bobina de una solenoide y donde su posición de reposo es de recogida del actuador. Por ello y para realizar el paro controlado, se emplean antirretornos desbloqueables que cuando falla o se corta el suministro de aire garantizan una parada segura y controlada (también con inercias pequeñas). La activación o supresión de la energía fluidica se ha realizado con una válvula 3/2, normalmente cerrada, servopilotada

neumáticamente y accionada por bobina de una solenoide, cuya posición de reposo corta el suministro de aire. De esta forma y por seguridad, se detiene el suministro de aire tanto con solicitud de parada como por el fallo del suministro eléctrico de control o de la fuente de energía fluidica.

Para la solución electrohidráulica se plantea el siguiente circuito:

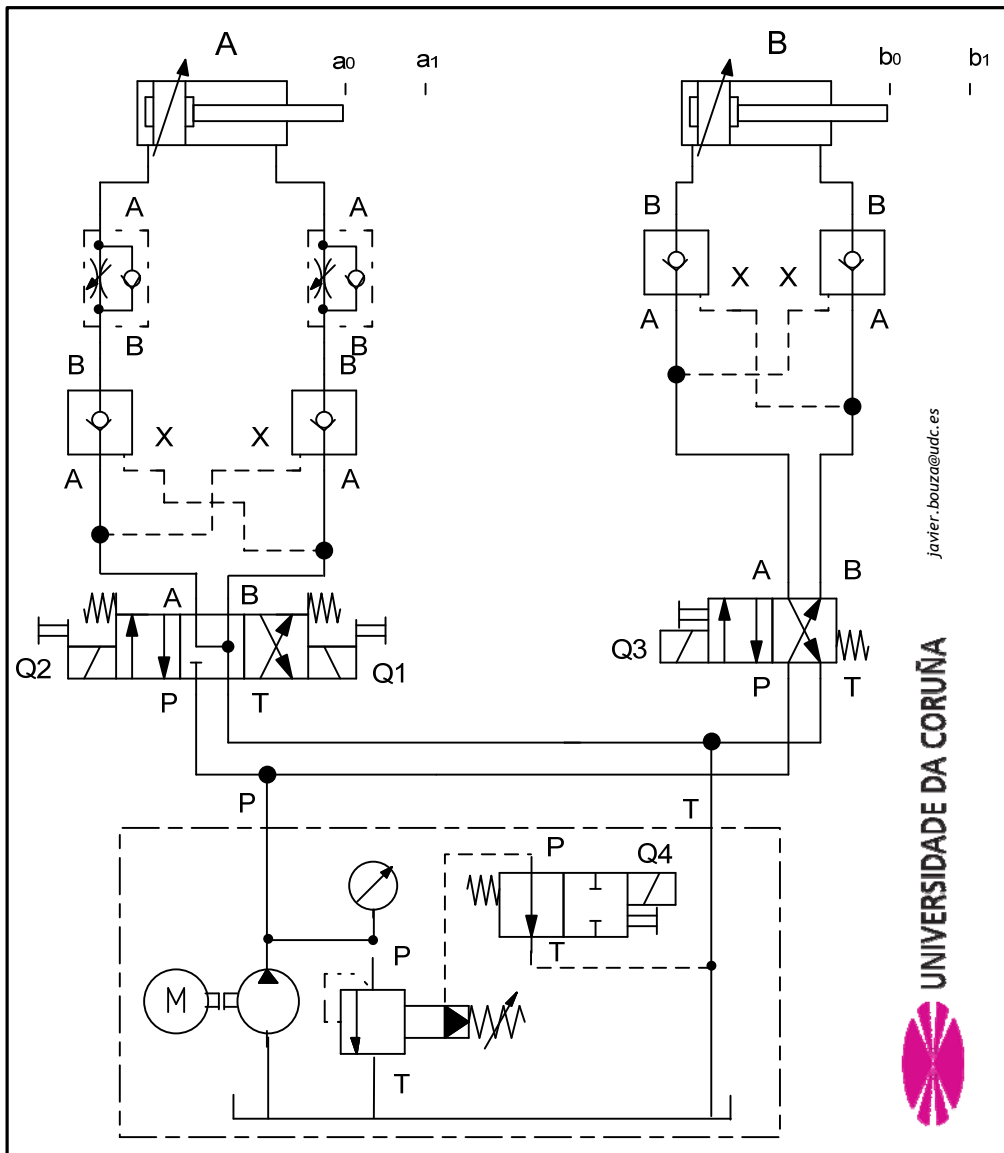


Figura 6.6.5.3.- Esquema funcional del sistema electrohidráulico - Caso I

Indicar que para esta solución electrohidráulica del caso I: el Paro realiza la desconexión de la energía fluídica mediante una válvula limitadora de presión con “venting” (o “descarga a baja presión”). La activación o supresión de potencia fluídica se lleva a cabo con una válvula 2/2, normalmente abierta, accionada por bobina de una solenoide, Q4, cuya posición de reposo activa el venting. De esta forma y por seguridad, mientras no se active bobina Q4 de la válvula 2/2 la salida del grupo hidráulico estará conectada directamente a tanque. Y, por tanto, no se dispondrá de potencia hidráulica suficiente para gobernar los actuadores, quedando el circuito lleno con fluido a baja presión. Para ejecutar la parada controlada, en el actuador A, se ha empleado: una válvula 4/3 con posición central libre (P/ABT) y accionada por bobina de una solenoide por ambos lados y con centraje por muelles y un par de antirretornos desbloqueables para sendas conexiones del actuador. En el caso de fallo, por control eléctrico (la válvula siempre se situará en posición central) o caída del grupo hidráulico, los antirretornos pilotados quedaran sin señal lo que permitirá paralizar y sujetar de manera segura actuadores con baja inercia. Para el actuador B, se ha escogido una válvula 4/2 accionada por bobina de una solenoide y donde su posición de reposo es de recogida del actuador. Al igual que en el actuador A, para realizar el paro controlado se emplean antirretornos desbloqueables. En este caso, los antirretornos se bloquean mediante la activación del venting (desconexión de Q4) o, también, por la caída del grupo hidráulico, lo que provoca una parada segura y controlada (siempre que las inercias no sean elevadas).

A continuación se empieza a desglosar el Algoritmo de Control, codificado en lenguaje FBD, que sirve para ambas soluciones de potencia fluídica.

Primeramente mostramos la definición de la *Condición de Paro*.

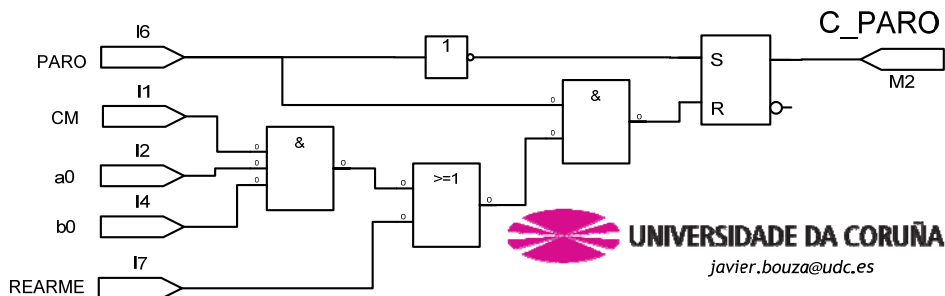


Figura 6.6.5.4.- FBD Caso I: Condición de Paro.

Como se muestra a continuación, el Paro domina sobre el resto de las condiciones. Y si el interruptor de Paro esta activado no será posible salir de su Condición de Paro. También, en el caso de fallo de energía eléctrica de control, la Condición de Paro se activará automáticamente al emplear un interruptor normalmente cerrado.

Por otro lado, se debe introducir la *Condición de Seguridad* que supone el implantar un dispositivo de protección humana (un sensor de presencia o interruptor de enclavamiento que detecta la posición de las protecciones fijas o un tapiz, etc.) y que, también, debe activar la condición de parada. Para ello, se amplia el algoritmo anterior de la siguiente forma:

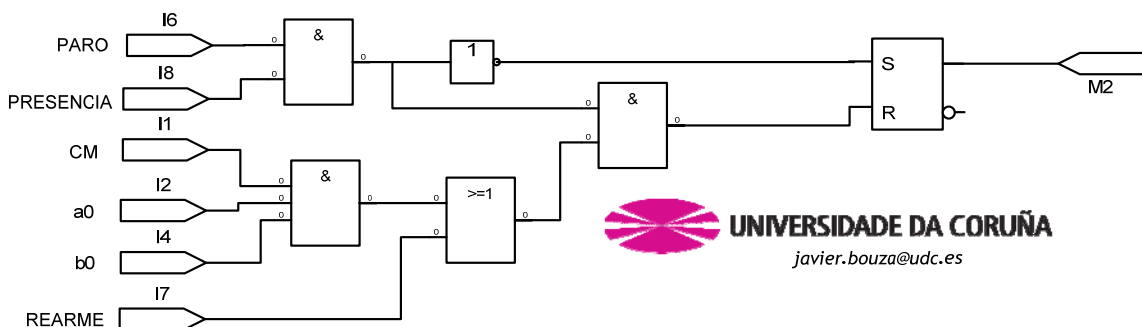


Figura 6.6.5.5.- FBD Caso I: Condición de Paro con condición de seguridad.

Hasta que se desactive tanto el interruptor de Paro como hasta que desaparece la señal de seguridad, y se active el Rearme o Marcha (en el caso de estar en posición de reposo) el sistema no saldrá de la Condición de Paro. Se ha

empleado para conjugar las entradas, Paro y Presencia, una función lógica “Y” puesto que ambas se implementan con un contacto NC. La Condición de Paro activada impide que pueda ser ejecutada cualquier otra condición solicitada (marcha o rearme), quedando la máquina totalmente paralizada y en situación segura.

El siguiente bloque plasma la Condición de Rearme:

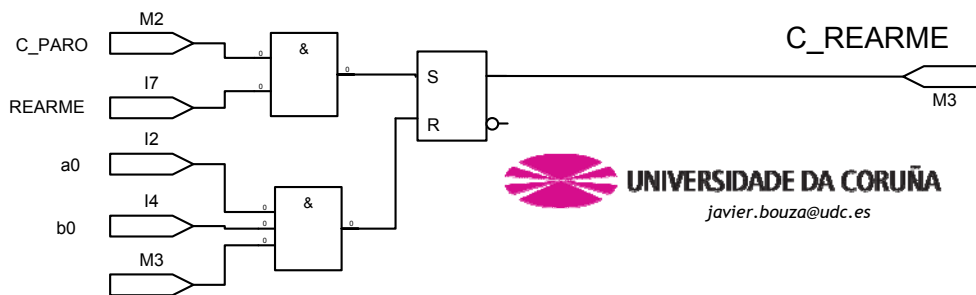


Figura 6.6.5.6.- FBD Caso I: Condición de Rearme opción 1.

De la fase experimental en el Laboratorio, se detecta una situación que retroalimenta el diseño y, consecuentemente, su algoritmo: como se observa el rearme sólo se podrá activar cuando la Condición de Paro haya sido activada previamente. Pero existe una situación en la que se debe permitir el Rearme sin necesidad de activar el Paro previamente: “en la puesta en marcha de la máquina cuando su posición no es la de reposo”. Por ello, se modifica el algoritmo con la siguiente propuesta.

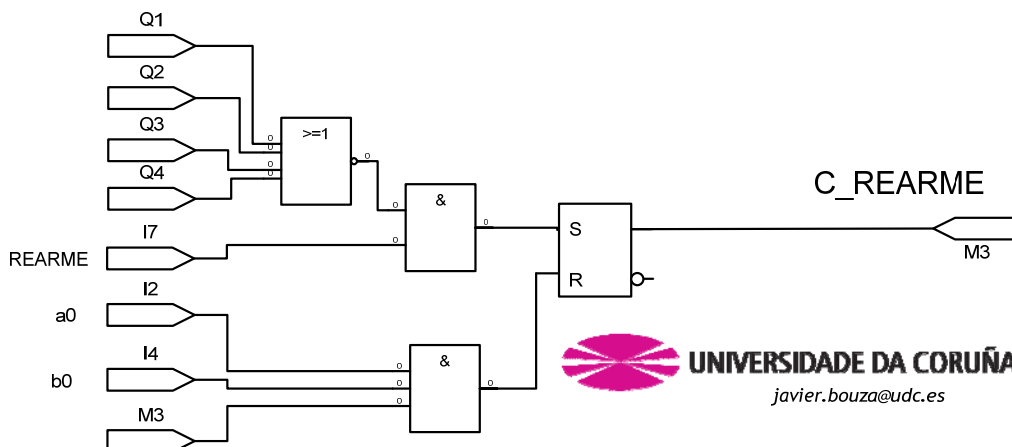


Figura 6.6.5.7.- FBD Caso I: Condición de Rearme opción 2.

Indicar que la comprobación de que todas las salidas están desactivadas se ha sintetizado en una función lógica NOR. Y que la Condición de Rearme se desactiva automáticamente cuando los actuadores se sitúan en posición de reposo, previamente solicitado el Rearme.

A continuación, se detalla la acción de activación y desactivación de la energía fluidica.

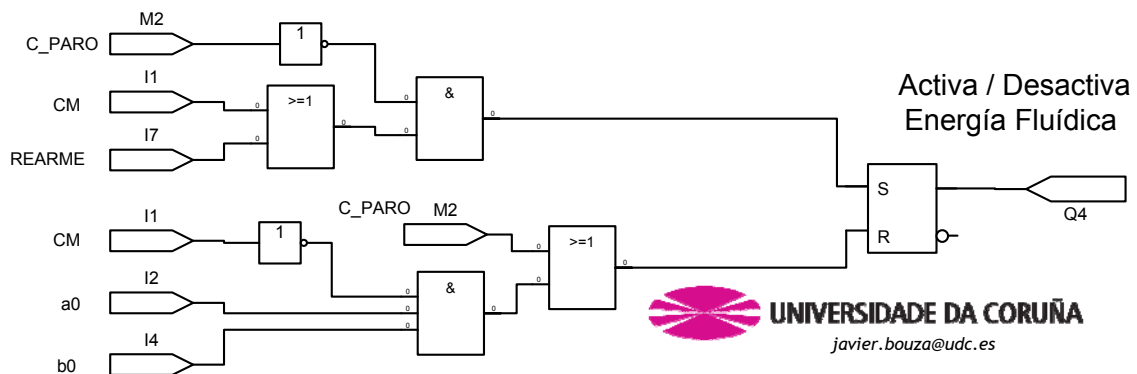


Figura 6.6.5.8.- FBD Caso I: Activación / desactivación de energía fluidica.

Como se deduce, la activación de la Condición de Paro desacoplará la potencia fluidica del sistema mediante la desconexión de la solenoide Q4. En caso del circuito electroneumático desactiva la electroválvula monoestable servopilotada 3/2 NC; y en el caso del circuito electrohidráulico desconecta la electroválvula 2/2 NA que activa el venting. Por el contrario, cuando la Condición de Paro esta desactivada (“el interruptor de paro debe estar desenclavado”) y se solicita Marcha o Rearme, tanto la electroválvula 3/2 como 2/2 de sendos circuitos, se activarán y conectarán la energía fluidica. Si existiese fallo, en el suministro eléctrico de control, las electroválvulas retornarán a su posición de reposo y se libera la energía fluidica por debajo de los antirretornos, lo que retiene a los actuadores en estado seguro. Y si se produce fallo en el suministro de potencia fluidica (ej: caída del compresor o del grupo hidráulico) se bloquearán los actuadores: en el circuito electroneumático, los distribuidores retornarán a su posición de reposo aunque exista tensión de control (debido a su servopilotaje neumático) y los antirretornos pilotados cerrarán; y en el caso del circuito electrohidráulico, desaparecen las señales de pilotaje que provocarán que los antirretornos pilotados cierren.

En el siguiente bloque se define la memoria auxiliar empleada para diferenciar las dos órdenes de mando semejantes (orden 2 y 4).

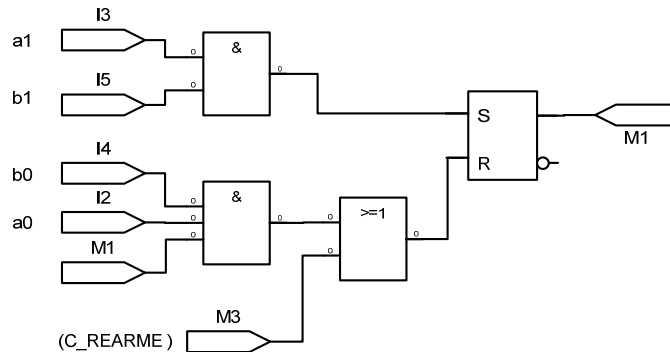


Figura 6.6.5.9.- FBD Caso I: memoria auxiliar opción 1.

Del análisis más detenido de esta secuencia se sigue que la finalización de la Condición de Rearme se obtiene con la activación de los dos sensores de mínima posición. Aplicando esta simplificación para la definición de la memoria auxiliar M1, queda:

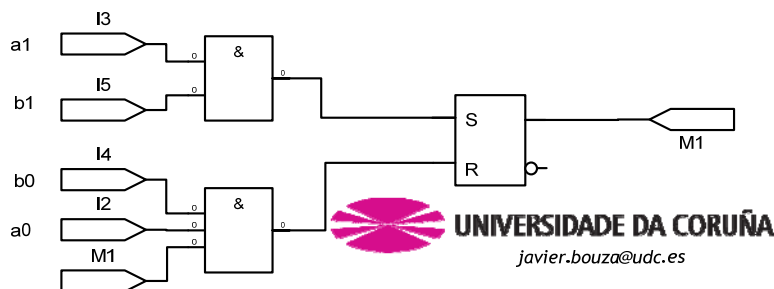


Figura 6.6.5.10.- FBD Caso I: memoria auxiliar opción 2.

E incluso, sería factible una simplificación aun mayor para esta secuencia como se muestra a continuación. De esta forma, se consigue que se reinicie la memoria M1 en la condición de reposo por defecto.

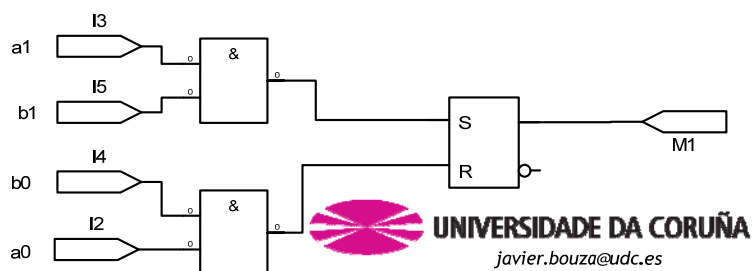


Figura 6.6.5.11.- FBD Caso I: memoria auxiliar opción 3.



Prosiguiendo con la definición del algoritmo de control, se exponen las órdenes de mando de la electroválvula biestable de tres posiciones que gobierna el actuador A, y se plantean dos opciones:

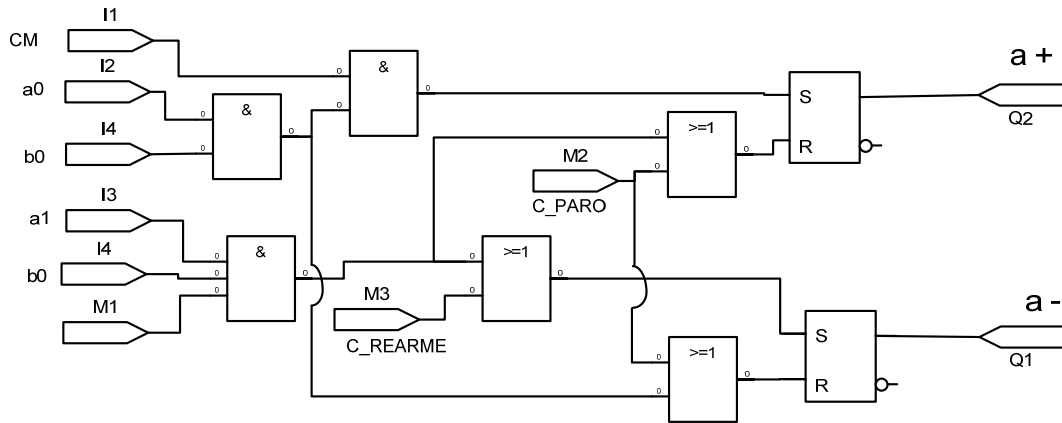


Figura 6.6.5.12.- FBD Caso I: mando actuador A opción 1.

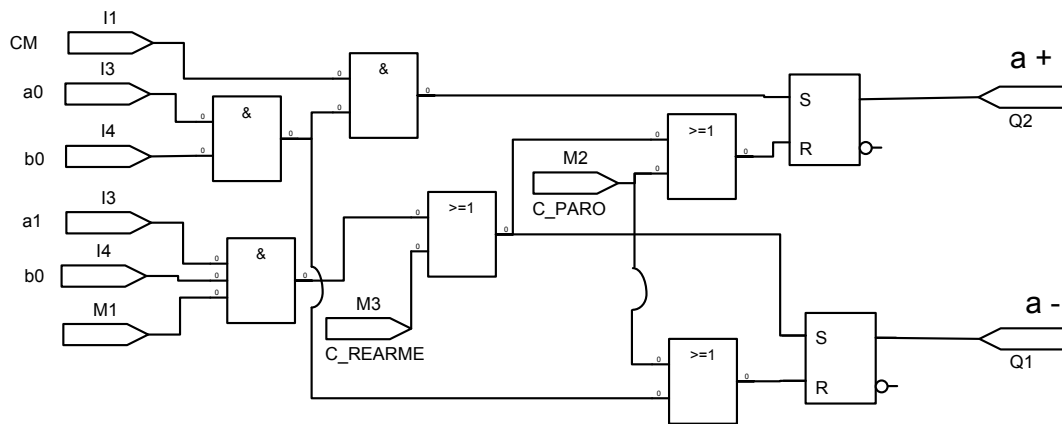


Figura 6.6.5.13.- FBD Caso I: mando actuador A opción 2.

Como se observa:

- i. En ambas opciones, el actuador A se retiene en la posición de máxima carrera manteniendo la energía fluidica sobre el mismo.
- ii. la Condición de Paro, para ambas opciones, resetea las dos memorias de control de distribuidor biestable A. Esto hace que el distribuidor se sitúe en posición central (“posición cerrada”) y pare y bloquee al actuador A.

- iii. La Condición de Rearme, activa la orden  $a^-$ : En bloque de mando opción 1, como se observa, no es necesario desactivar la orden  $a^+$ , puesto que el Rearme sólo será posible después de un Paro o del primer inicio de la máquina. Como la gran mayoría de los PLC's y controladores presentan la opción de remanencia para sus biestables RS (aplican a su salida el mismo estado de señal que tenía antes del corte de suministro eléctrico de control) se propone una segunda opción. Esta elimina los valores remanentes de la orden  $a^+$  cuando se solicita el rearme de la máquina sin suponer un aumento de los recursos empleados, mejorando la fiabilidad.
- iv. En ambas opciones, una vez desenclavada la Parada, la máquina no tendrá posibilidad de que el actuador A reinicie su marcha en el estado previo a la parada. Sólo, cabe la posibilidad de activar Rearme salvo que la parada se realice sobre su estado de reposo (en cuyo caso se puede solicitar Marcha). Esto, lógicamente, se justifica en el reseteo de las memorias de control que ejecuta el Paro.

Una tercera posibilidad, para el algoritmo de control A, es que la posición central del distribuidor 4/3 o 5/3 biestable sea la encargada de mantener el actuador estirado. Esta opción, se puede emplear en la solución hidráulica pero en la solución neumática estará limitada a un intervalo corto de retención.

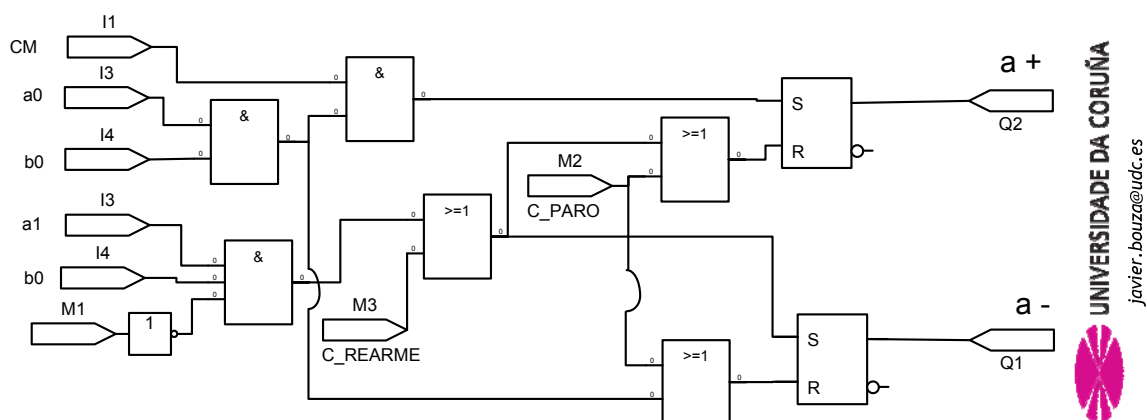


Figura 6.6.5.14.- FBD Caso I: mando actuador A opción 3.

La definición de los órdenes del mando de la electroválvula, de dos posiciones, monoestable que gobierna el actuador B:

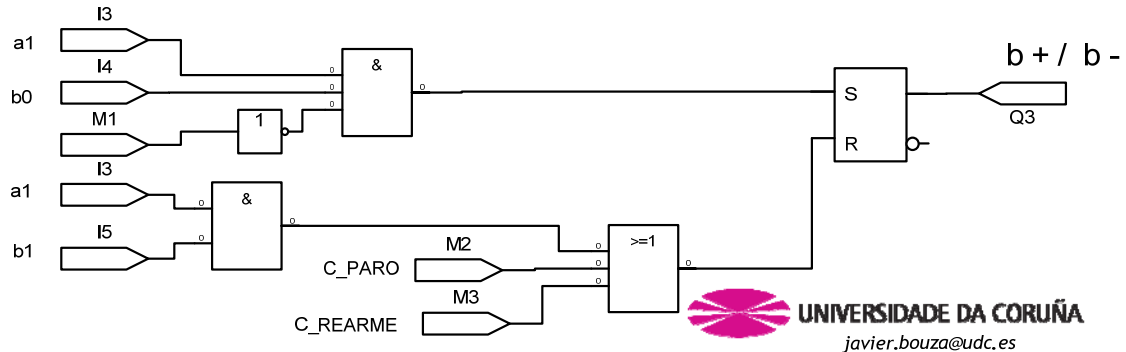


Figura 6.6.5.15.- FBD Caso I: mando actuador B.

Como se observa:

- i. La recogida del actuador B se ordena mediante la desactivación de la memoria de control y, en consecuencia, de la bobina Q3.
- ii. la Condición de Paro, resetea la memoria de control y esto hace que el distribuidor B se sitúe en posición de reposo. Pero el actuador B queda parado y bloqueado por los antirretornos pilotados. Estos se quedan sin señal en sus pilotajes: en la solución electroneumática, al desconectar la electroválvula 3/2 NC; y en la solución electrohidráulica al activarse el venting por desconectar la electroválvula 2/2 NA.
- iii. La Condición de Rearme, activa la orden  $b-$  y no es necesario eliminar la orden  $b+$  puesto como se ha indicado será necesario un paro previo. En este distribuidor no se plantea aumentar la seguridad como en el anterior, ya que en el caso hipotético de que en la memoria de control B tuviese las dos entradas activadas, la salida estaría desactivada. Esto se debe al tipo de memoria de control biestable RS con reseteo dominante que normalmente emplean los PLC's.

- iv. Al igual que en el distribuidor A, no cabe la posibilidad de que el cilindro B reinicie su marcha en el punto antes de la parada debido al reseteo de las memorias de control. Por tanto, una vez desenclavada la Parada, la máquina sólo tendrá posibilidad de activar el Rearme, salvo que su parada se realice sobre su estado de reposo (en cuyo caso se puede solicitar Marcha).

#### 6.6.6 Caso II: PARO con corte de energía fluídica y mantenimiento de las memorias de control

En este caso II, a diferencia del anterior, se mantiene el estado interno de subsistema de control cuando se solicita el Paro. Y por tanto, no se resetean las memorias de control y marcas internas. Esto permitirá que una vez desactivado el Paro, el sistema de control autorice a la máquina a continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a realizar el rearme de la máquina a las condiciones iniciales. No será necesario modificar la parte operativa con respecto al caso I, tanto en la solución electroneumática como electrohidráulica. Y en ese sentido, para el circuito neumático: el distribuidor de potencia que gobierna B no será inadecuado, puesto que va acompañado de dos antirretornos pilotados que al quedar sin señal por corte de la energía fluídica (desactivación de Q4) paran y retiene al actuador B; y en el caso de la solución electrohidráulica: los cilindros se bloquearan por la eliminación de la señal de pilotaje de sus antirretornos pilotados (por desactivación de Q4). Y, por tanto, bastará únicamente realizar modificaciones sobre el algoritmo de control.

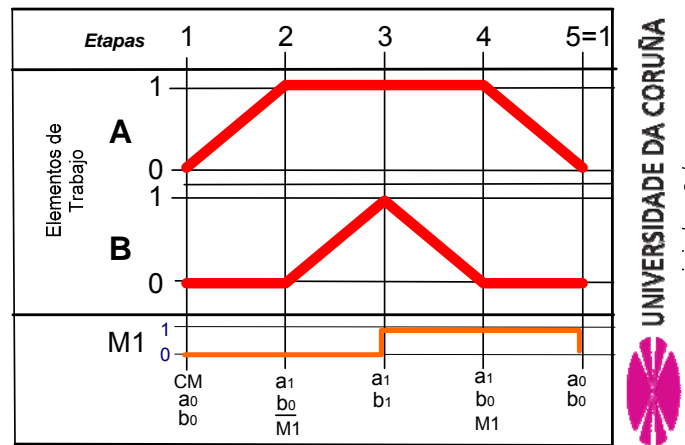


Figura 6.6.6.1.- Diagrama simplificado Caso II

En este caso II, la memoria de control, las Condiciones de Paro, Corte/Activación de la Energía Fluídica y Rearme se redefinen con respecto al caso I en los siguientes aspectos:

- i. Una vez desactivada el Paro, cabe la posibilidad de activar de nuevo la marcha en el punto previo a la parada o activar el Rearme para regresar a las condiciones iniciales.
- ii. Y los bloques de Paro y corte/activación de energía fluídica se han integrado en uno sólo (variante 2).

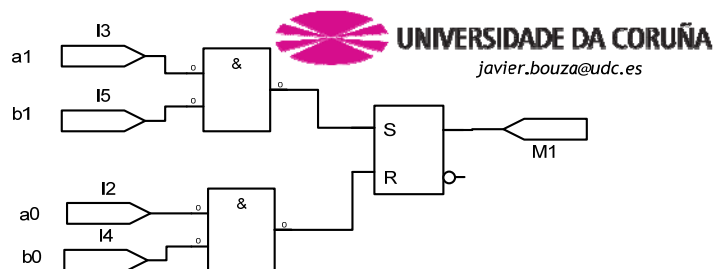


Figura 6.6.6.2.- FBD Caso II: Memoria auxiliar

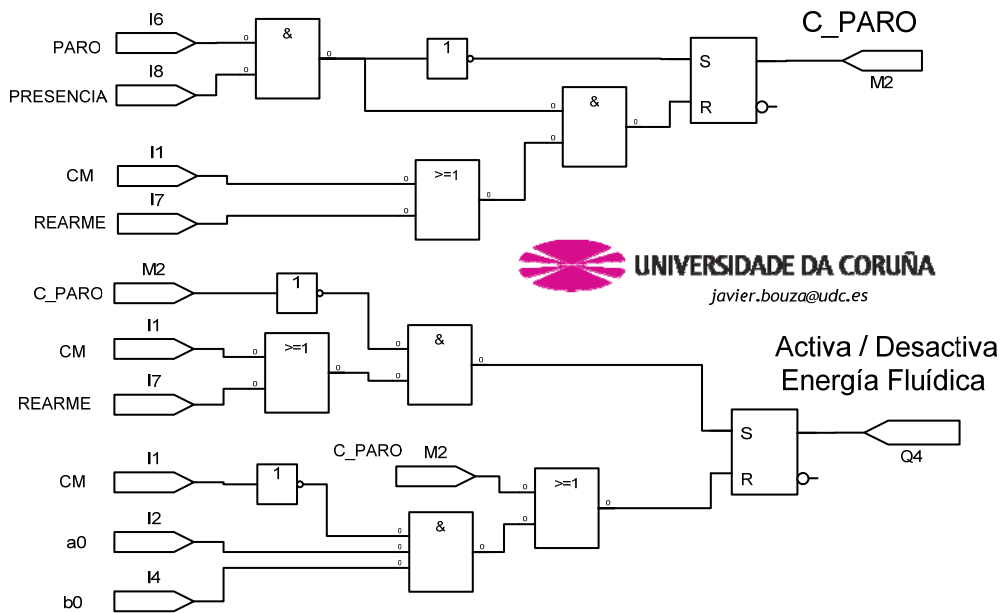


Figura 6.6.6.3.- FBD Caso II: Paro y Corte/Activación energía - variante 1

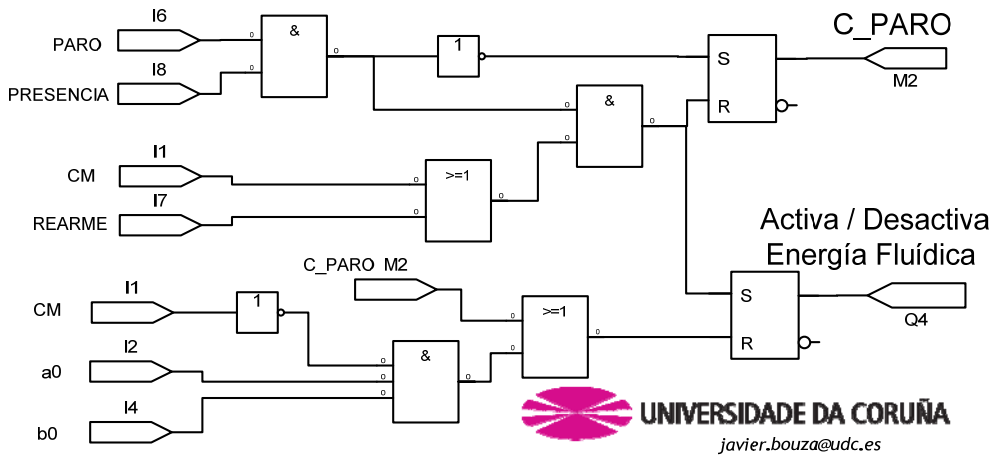


Figura 6.6.6.4.- FBD Caso II: Paro y Corte/Activación energía - variante 2

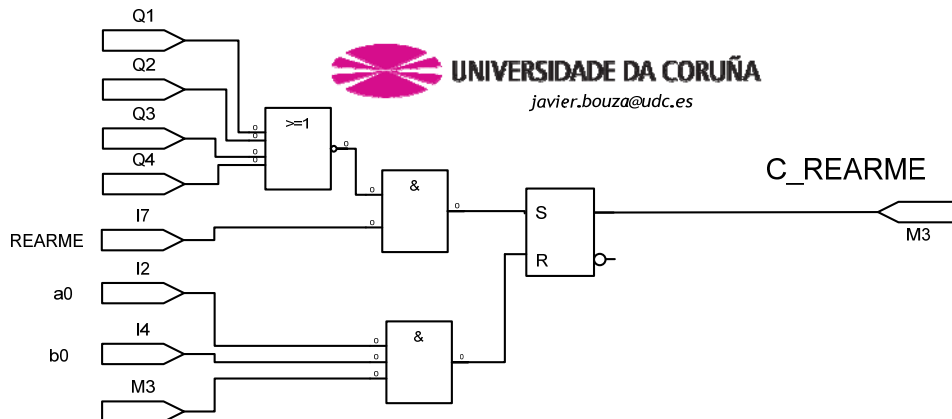


Figura 6.6.6.5.- FBD Caso II: Rearme

A continuación, se muestra los bloques de control de los distribuidores A y B. En el caso de A, se muestran dos posibilidades.

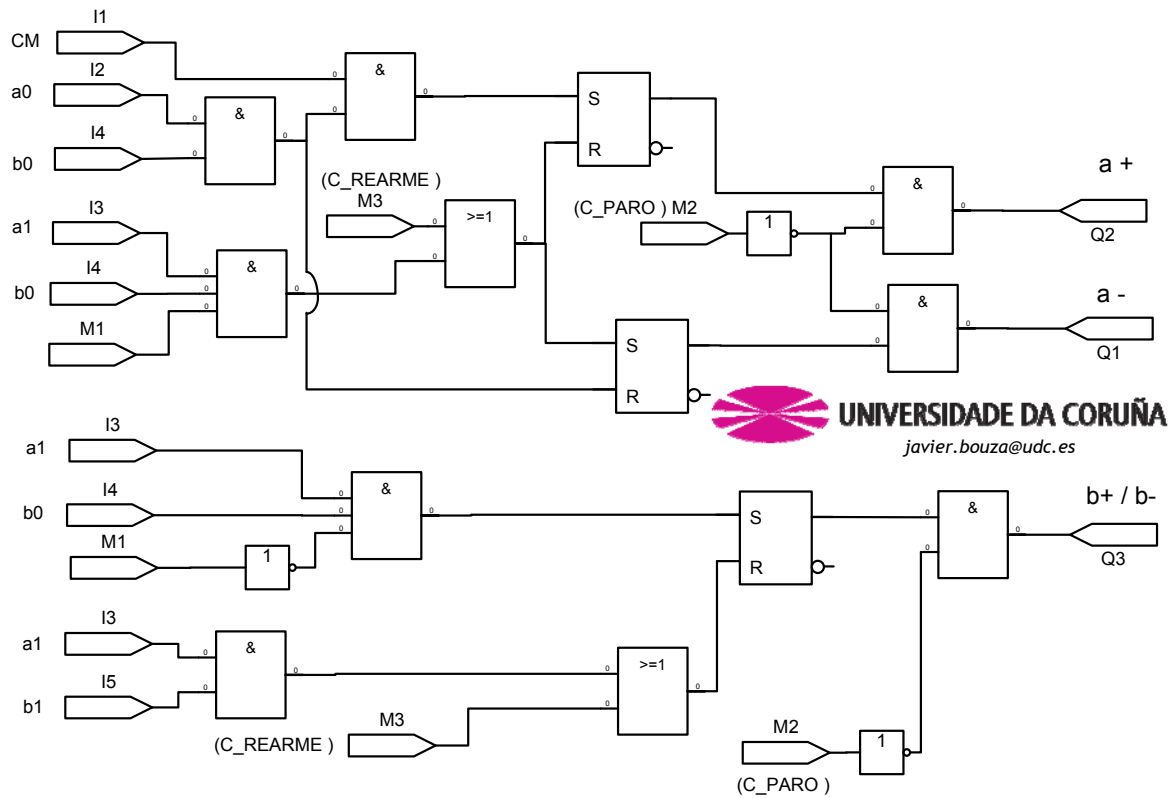


Figura 6.6.6.6.- FBD Caso II: Distribuidores A y B

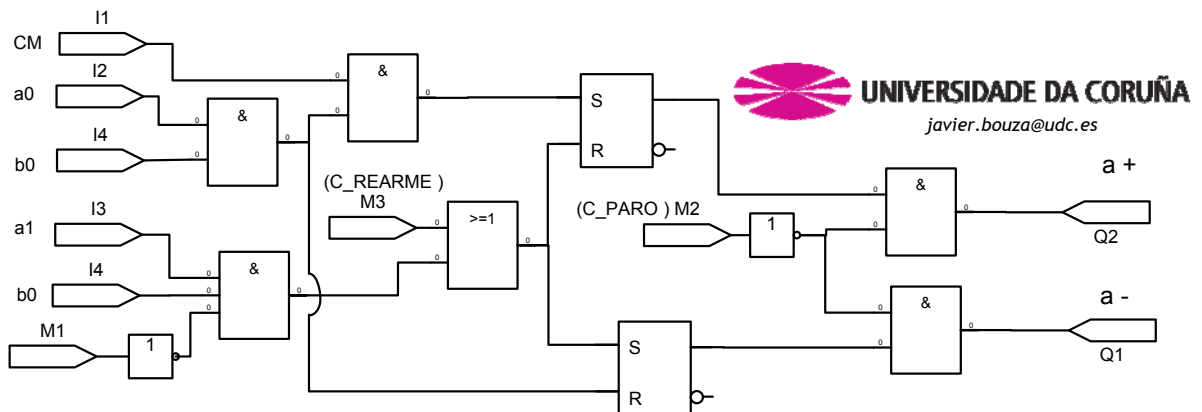


Figura 6.6.6.7.- FBD Caso II: Distribuidor A variante 2

Como se observa:

- i. Para el distribuidor A, se muestran dos variantes: la primera, retiene al actuador A en la posición de máxima carrera manteniendo la energía fluídica sobre el mismo; y la segunda, es la posición central del distribuidor la que retiene al actuador A.
  
- ii. La Condición de Paro “M2”, cuando se activa, inhibe las salidas del autómata Q1 (A-), Q2 (A+) y Q3 (B+) conjuntamente con la desactivación de Q4 (Activa/desactiva energía fluídica). Esto provoca que las actuaciones de los actuadores se anulen y queden bloqueados, si bien sus órdenes de mando quedarán registradas. Esto faculta al subsistema de control de capacidad de memoria del estado previo a la parada. Y permitirá diseñar un programa de control que posibilite continuar desde el punto de la parada (y poder finalizar el proceso) o rearmar la máquina a condiciones iniciales. Así, el efecto de la Condición de Paro sobre:
  - el distribuidor A: no resetea ninguna de sus dos memorias de control pero inhibe la acción de la memoria que este activa y provoca que el distribuidor 5/3 se sitúe en su posición central. Esto, conjuntamente con el corte de energía fluídica, ocasiona la parada y retención del cilindro A: en el caso de solución neumática por su posición central cerrada y en el caso de la solución hidráulica por los antirretornos pilotados
  
  - el distribuidor B: no resetea el estado de la memoria de control pero si cancela la salida Q3. Esto origina la orden de recogida del cilindro B, pero que no se puede hacer efectiva por los antirretornos pilotados que acompañan al distribuidor. Lo cuales,



cierran y bloquean al actuador B al quedarse sin señal de fluido por el corte de la energía fluídica (desactivación Q4).

iii. La Condición de Rearme sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas. Y esto curre en dos casos: o parando la máquina y luego desactivando la Condición de Paro o en la puesta en marcha de la máquina cuando sus actuadores no están en su estado inicial. El efecto que genera la Condición de Rearme:

- en el distribuidor A: activa la orden a- y elimina, por seguridad, la orden a+. Como se explicó, esto se hace así por el uso de memorias de control para los distribuidores: suprimiendo cualquier señal antagónica anterior que quedara registrada.
- en el distribuidor B: resetea la orden b+ y ,en consecuencia, actúa la posición de reposo del distribuidor que ordena b-

### 6.6.7 Caso III: PARO con mantenimiento de la energía fluídica y de las memorias de control

En este caso III, cuando se solicita el Paro se mantiene tanto la energía fluídica como el estado interno de subsistema de control (y, por tanto, no se resetean las memorias de control y marcas internas). Esto permitirá, al igual que en el caso II, que una vez desactivado el Paro el sistema de control autorice a la máquina a continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a que se realice el rearme de la máquina a las condiciones iniciales. Pero a diferencia del Caso II, el hecho de no desconectar la potencia fluídica permite tener un tiempo de respuesta menor para reiniciar el ciclo o para rearmar la máquina pero, en contrapartida, el consumo de energía será mayor. También, indicar que en caso de fallo eléctrico, los actuadores se paran y bloquean en estado seguro. Para este caso III es obligatorio rediseñar la parte operativa de los circuitos electroneumáticos y electrohidráulicos debido a la presencia de energía fluídica en los circuitos en el momento del paro. Además, de las modificaciones en el circuito fluídico de potencia se añadirá una nueva entrada que comprueba la presencia de energía de presión para realizar el trabajo.

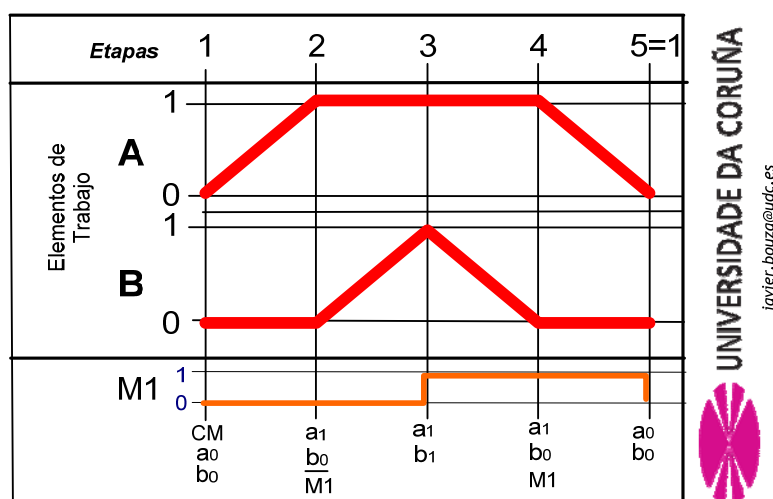


Figura 6.6.7.1.- Diagrama simplificado Caso III

Las variables de diseño del algoritmo de control, para el caso III, son:

Tabla 6.6.7.1.- Entradas Caso III

| <b>Entrada</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>  |
|----------------|--------------------|---|
| I1             | CM                 | Pulsador de Marcha (NA) <sup>51</sup>   |
| I2             | a <sub>0</sub>     | Sensor reed (NA)  |
| I3             | a <sub>1</sub>     | Sensor reed (NA)  |
| I4             | b <sub>0</sub>     | Sensor reed (NA)  |
| I5             | b <sub>1</sub>     | Sensor reed (NA)  |
| I6             | PARO               | Interruptor de Paro (NC) <sup>52</sup>  |
| I7             | REARME             | Pulsador de Rearme (NA)   |
| I8             | PRESENCIA          | Condición de seguridad (NC). Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina     |
| I9             | S2                 | Condición de seguridad (NC). Detecta falta de energía de presión para realizar el trabajo |

Tabla 6.6.7.2.- Salidas Caso III

| <b>Salida</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b> |
|---------------|--------------------|--------------------|
| Q1            | a –                | Actuación A –      |
| Q2            | a +                | Actuación A +      |
| Q3            | b –                | Actuación B –      |
| Q4            | b+                 | Actuación B +      |

Tabla 6.6.7.3.- Memorias Caso III

| <b>Memoria</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>  |
|----------------|--------------------|---------------------|
| M1             | MI                 | Memoria auxiliar    |
| M2             | C_PARO             | Condición de Paro   |
| M3             | C_REARME           | Condición de Rearme |

A continuación, se presentan dos propuestas para el circuito electroneumático del caso III:

<sup>51</sup> NA = normalmente abierto

<sup>52</sup> NC = normalmente cerrado

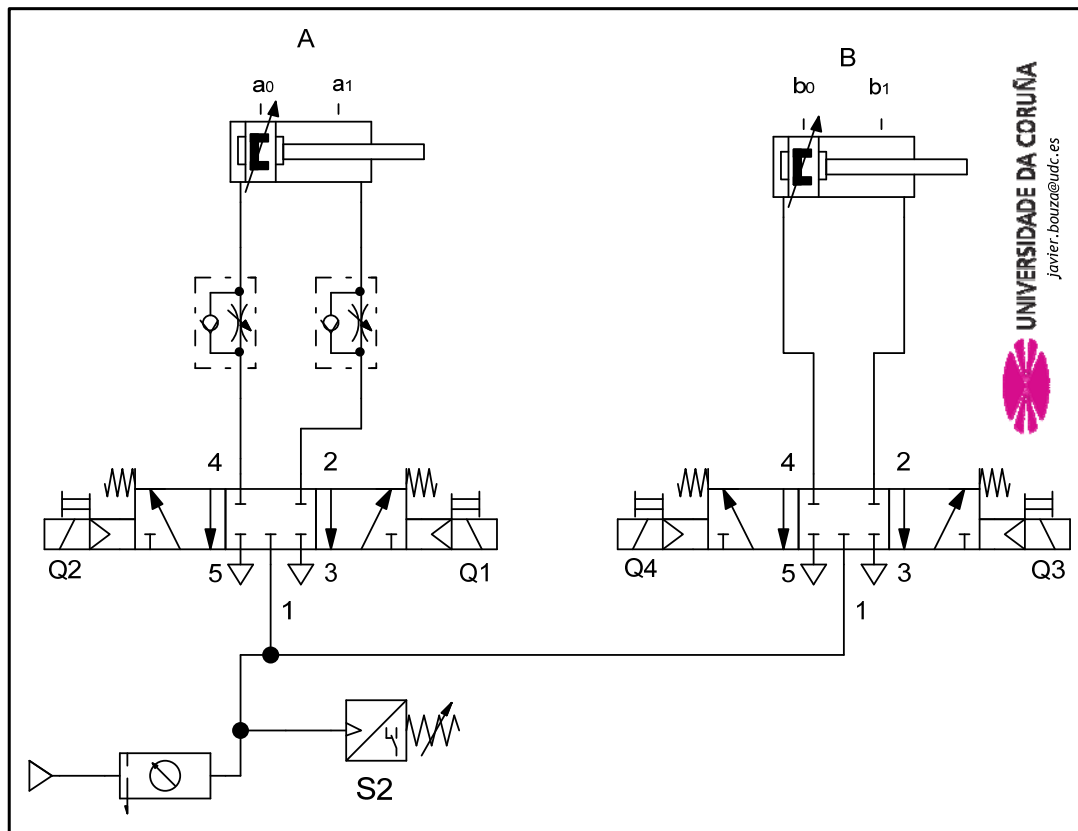


Figura 6.6.7.2.- Esquema funcional del sistema electropneumático opción 1 - Caso III

En esta primera solución electropneumática, se ha optado por emplear dos distribuidores 5/3 con posición central cerrada, pensando en que las inercias de los actuadores no son elevadas y tampoco los tiempos de pausa (en posición distinta de la de reposo). De esta forma, el uso de la posición central cerrada permitirá parar y retener la carga de forma satisfactoria. En el caso de tiempos elevados de retención, se resuelve con la segunda propuesta. Y cuando las inercias son importantes se aplicará el caso IV. Otro aspecto a destacar, son los accionamientos de los distribuidores que son servopilotados neumáticamente. Esto implica que es necesario un umbral mínimo de presión para que funcionen correctamente. Y en este sentido, se ha incorporado al sistema un presostato (S2) que comprueba si la presión del circuito se sitúa en el rango de presión de trabajo correcto. En este circuito, opción 1, el paro de los actuadores se ejecuta mediante desactivación de los dos solenoides de cada distribuidor 5/3, lo que les sitúan en su posición central cerrada, sin suprimir la energía fluidica.

El esquema funcional de la segunda solución para el circuito electropneumático es:

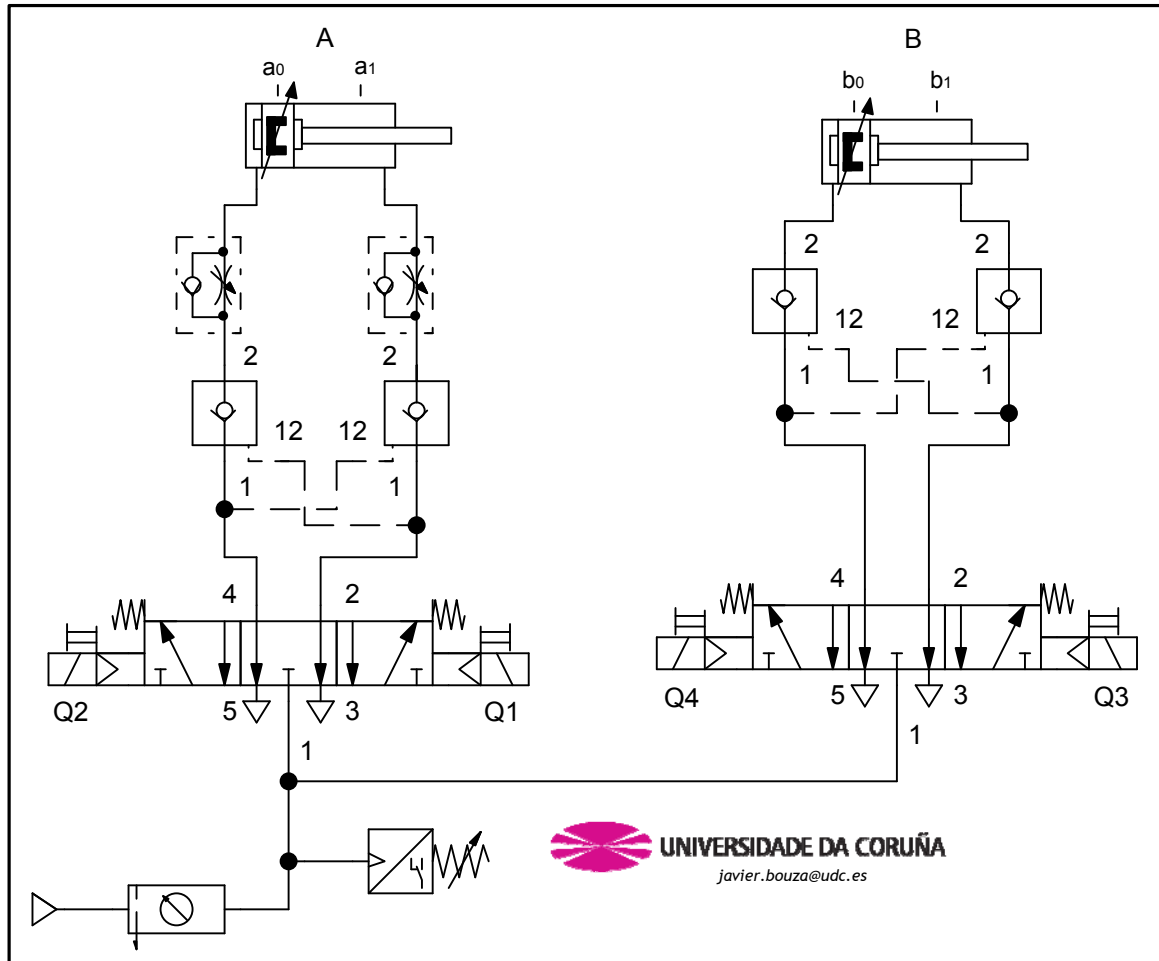


Figura 6.6.7.3.- Esquema funcional del sistema electropneumático opción 2 - Caso III

En esta segunda propuesta, si bien, se ha optado por distribuidores de potencia 5/3 electropilotados neumáticamente, en cambio, su posición central es libre y se han añadido válvulas antirretorno desbloqueables. Con ello se consigue que la parada y el bloqueo de los actuadores sean independientes de los tiempos de retención, debido a que los antirretornos producen un cierre totalmente estanco de las conexiones de los actuadores. En contrapartida, los tiempos de respuesta de los actuadores son algo mayores que la opción 1, por el vaciado de parte del circuito (entre los distribuidores y los antirretornos pilotados) y sus arranques son más suaves.

Para el circuito electrohidráulico se plantea una única solución:

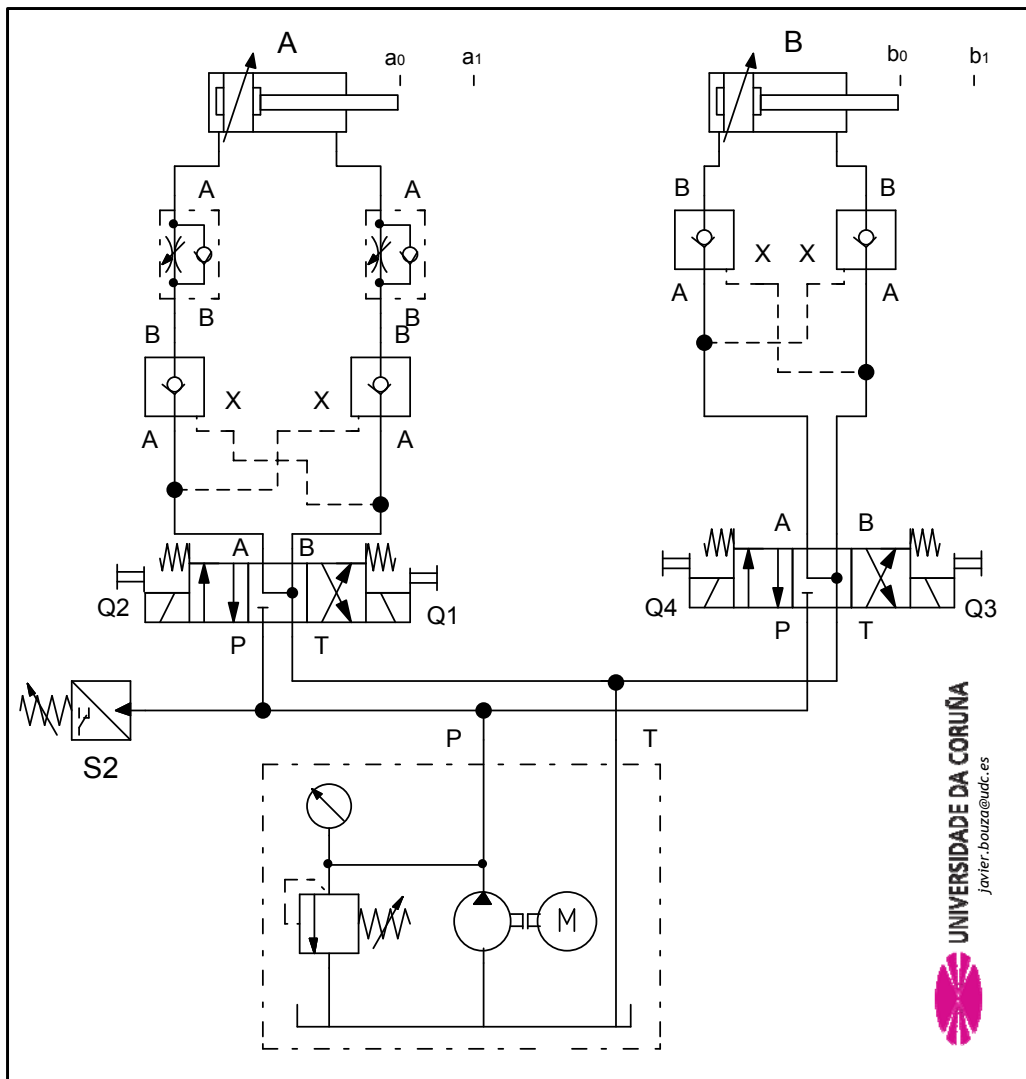


Figura 6.6.7.4.- Esquema funcional del sistema electrohidráulico - Caso III

En esta solución, se han escogido distribuidores 4/3, accionados electromagnéticamente por bobina de una solenoide y con posición central libre, acompañados de válvulas antirretorno desbloqueables. Esto permite que la posición central pare y bloquee de manera segura cargas con inercias no elevadas (las inercias elevadas se tratará en el caso IV). Se ha descartado la posición central cerrada, pensando en la necesidad de mantener una fuerza constante y sin caídas de presión en los actuadores y particularmente en el actuador A. Si bien, en el actuador B, se podría utilizar una posición central cerrada por no tener que mantener su posición estirada.

Para el algoritmo de control, las Condiciones de Paro, Rearme y la memoria son:

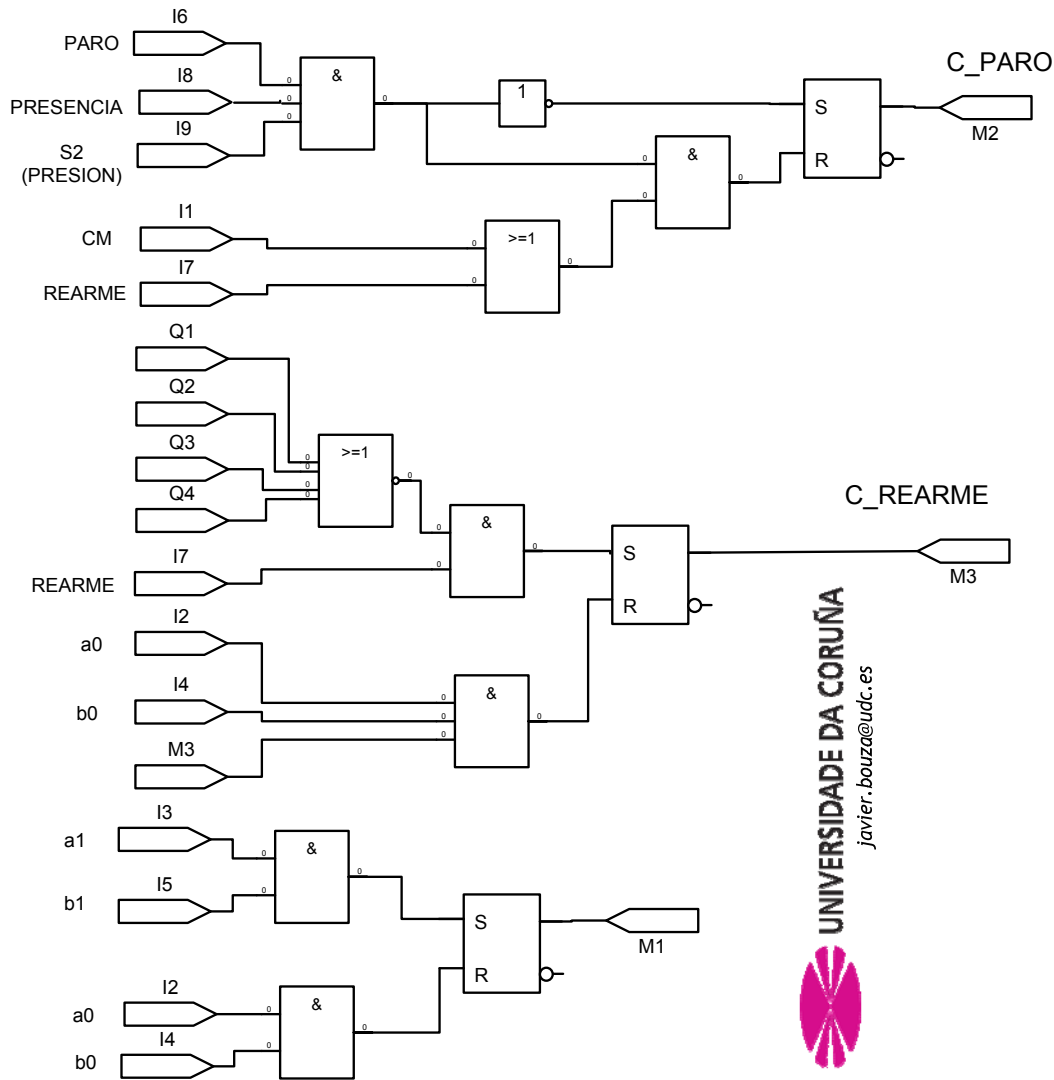


Figura 6.6.7.5.- FBD caso III: parte 1.

Indicar que las condiciones de seguridad se han ampliado introduciendo el sensor S2 que verifica una presión de trabajo adecuada y, en caso, de no cumplirse se activará la Condición de Paro.

Para el distribuidor A, se presentan dos opciones. La primera se puede emplear en la solución electro neumática opción 1. Y que mantiene al actuador A, en la posición de máxima carrera, con la energía fluídica.

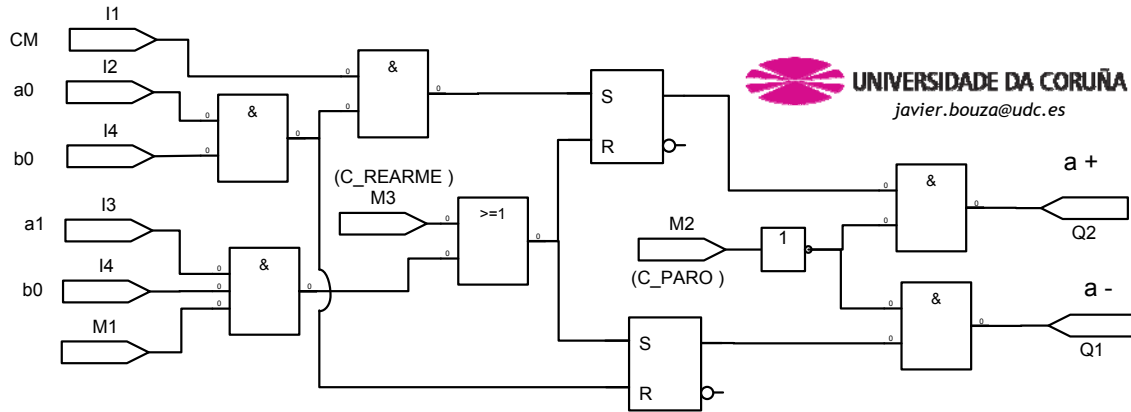


Figura 6.6.7.6.- FBD caso III: Distribuidor A opción 1.

La segunda, para el resto de las soluciones. Y que retiene al actuador A, en la posición de máxima carrera, con los antirretornos pilotados.

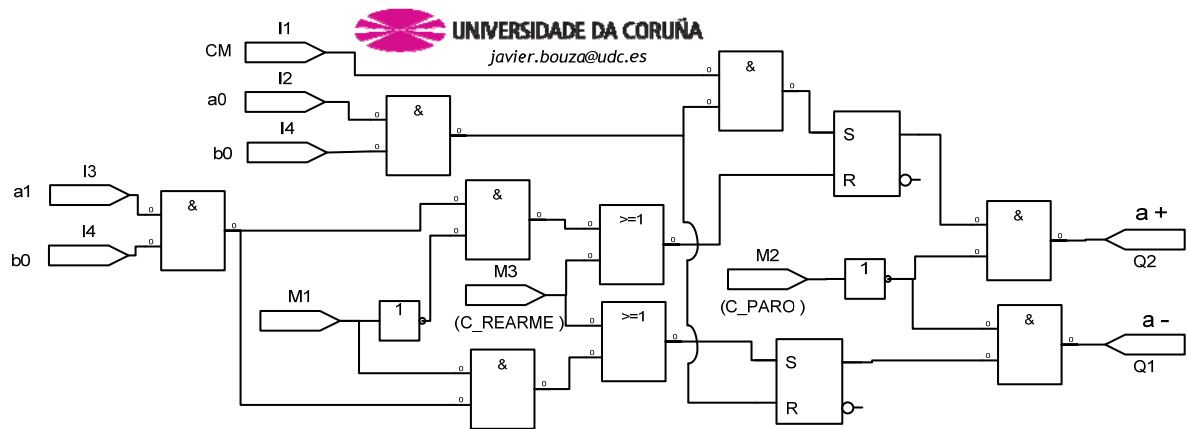


Figura 6.6.7.7.- FBD caso III: Distribuidor A opción 2.

Y el bloque lógico para el distribuidor B tiene una estructura semejante al distribuidor A:



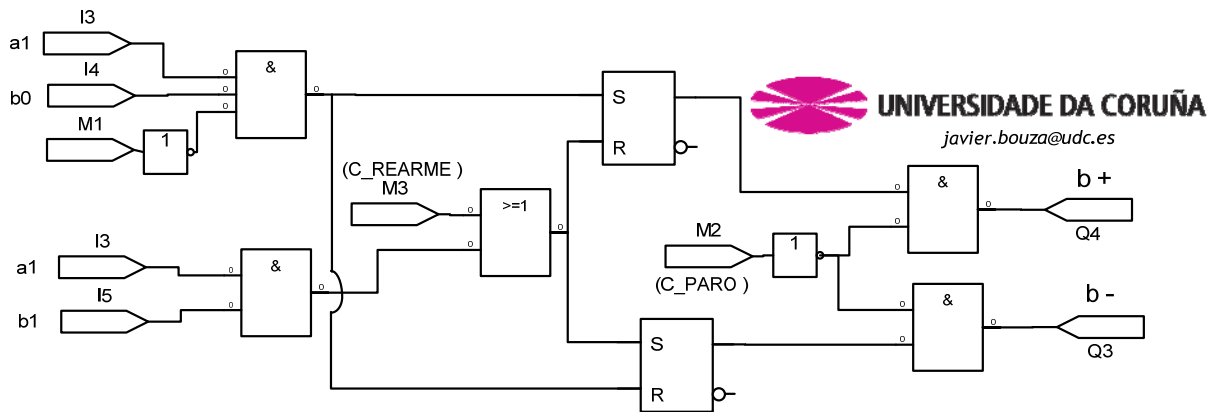


Figura 6.6.7.8.- FBD caso III: Distribuidor B

#### 6.6.8 Caso IV: PARO con mantenimiento de la energía fluidica y de las memorias de control con inercias elevadas

Este caso IV, se podría considerar como una variante del caso III pero se decide tratar de forma independiente por los riesgos inherentes que supone controlar cargas elevadas en movimiento. Para este caso, también, cuando se solicita el Paro se mantiene tanto la energía fluidica como el estado interno de subsistema de control (y por tanto no se resetean las memorias de control y marcas internas). Esto permitirá que una vez desactivado el Paro, el sistema de control autorice a la máquina a continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a que se realice el rearme de la máquina a las condiciones iniciales. A diferencia del Caso III, las aperturas y las desconexiones de los distribuidores deben ser ajustadas y se deben evitar las paradas y los arranques bruscos de los actuadores. También, el hecho de no desconectar la potencia fluidica, permite tener un tiempo de respuesta menor para reiniciar el ciclo o rearmar la máquina pero, en contrapartida, el consumo de energía será mayor. En este caso IV se ha empleado el mismo Programa de control que en el caso anterior pero con la incorporación de bloques de temporización que permiten el reglaje del tiempo de conmutación de los distribuidores. Y se ha modificado la parte operativa de los circuitos electroneumáticos y electrohidráulicos para que mantenga unas condiciones dinámicas y de seguridad adecuadas.

Las variables del algoritmo de control son similares a las del caso III:

Tabla 6.6.8.1.- Entradas Caso IV

| <i>Entrada</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>  |
|----------------|--------------------|---|
| I1             | CM                 | Pulsador de Marcha (NA) <sup>53</sup>   |
| I2             | $a_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I3             | $a_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I4             | $b_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I5             | $b_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I6             | PARO               | Interruptor de Paro (NC) <sup>54</sup>  |
| I7             | REARME             | Pulsador de Rearme (NA)   |
| I8             | PRESENCIA          | Condición de seguridad (NC).<br>Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina    |
| I9             | S2                 | Condición de seguridad (NC)<br>Detecta falta de energía de presión para realizar el trabajo |

Tabla 6.6.8.2.- Salidas Caso IV

| <i>Salida</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i> |
|---------------|--------------------|--------------------|
| Q1            | $a -$              | Actuación A -      |
| Q2            | $a +$              | Actuación A +      |
| Q3            | $b -$              | Actuación B -      |
| Q4            | $b +$              | Actuación B +      |

Tabla 6.6.8.3.- Memorias Caso IV

| <i>Memoria</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>  |
|----------------|--------------------|---------------------|
| M1             | M1                 | Memoria auxiliar    |
| M2             | C_PARO             | Condición de Paro   |
| M3             | C_REARME           | Condición de Rearme |

<sup>53</sup> NA = normalmente abierto

<sup>54</sup> NC = normalmente cerrado

Indicar, que en este caso IV, el sensor S2 además de ser usado para verificar la presión del sistema fluídico permite, indirectamente, detectar el comportamiento dinámico del sistema (p. ej. Detectar golpes de ariete, etc.).

La poca compresibilidad del fluido usado en los sistemas de potencia hidráulica permite aumentar el rango de la presión de trabajo, que oscila entre los 100 y 400 bar, lo que hace que las cargas inerciales puedan ser muy grandes y supongan un alto riesgo. En los sistemas neumáticos la compresibilidad del aire y su rango de presión, entre 3 y 30 Bar, disminuyen de manera ostensible el problema de la inercia. Además, en ambos casos y cuando los actuadores sean cilindros se seleccionaran con la opción de amortiguación interna, lo que permitirá disminuir la frenada en las posiciones extremas (mínima y máxima carrera)

Para la solución del circuito electroneumático, se han planteado dos variantes.

En la primera, se ha decidido controlar las velocidades de ambos actuadores con objeto de disminuir la energía cinética. Para ello, se ha empleado una válvula compacta que combina las funciones de regulación de caudal y antirretorno desbloqueable. Esta válvula permite regular la velocidad y bloquear los actuadores de forma segura.

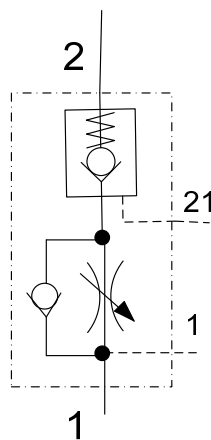


Figura 6.6.8.1.- Válvula compacta de regulación caudal y antirretorno desbloqueable.

Así, en el circuito electroneumático opción 1, se montan dos válvulas compactas en sendos cilindros y se conectan, en cruz, sus conexiones de pilotaje adicional: la conexión 1 se conecta con el pilotaje 21 de válvula opuesta. En el caso de un paro, los distribuidores 5/3 se pondrán en posición central libre, y las líneas por debajo de la válvulas compactas quedarán sin aire. Esto provoca que los pilotajes 21 de los antirretornos desbloqueables queden sin señal y cierren y, en consecuencia, bloqueen a los actuadores. Además, la disponibilidad que presenta estas válvulas de regulación de caudal permitirá ajustar la velocidad a valores que hagan que los paros se realicen en un rango estable y seguro. A ello hay que sumar los bloques temporizadores, en el programa de control, que permiten el reglaje de los tiempos de conmutación.

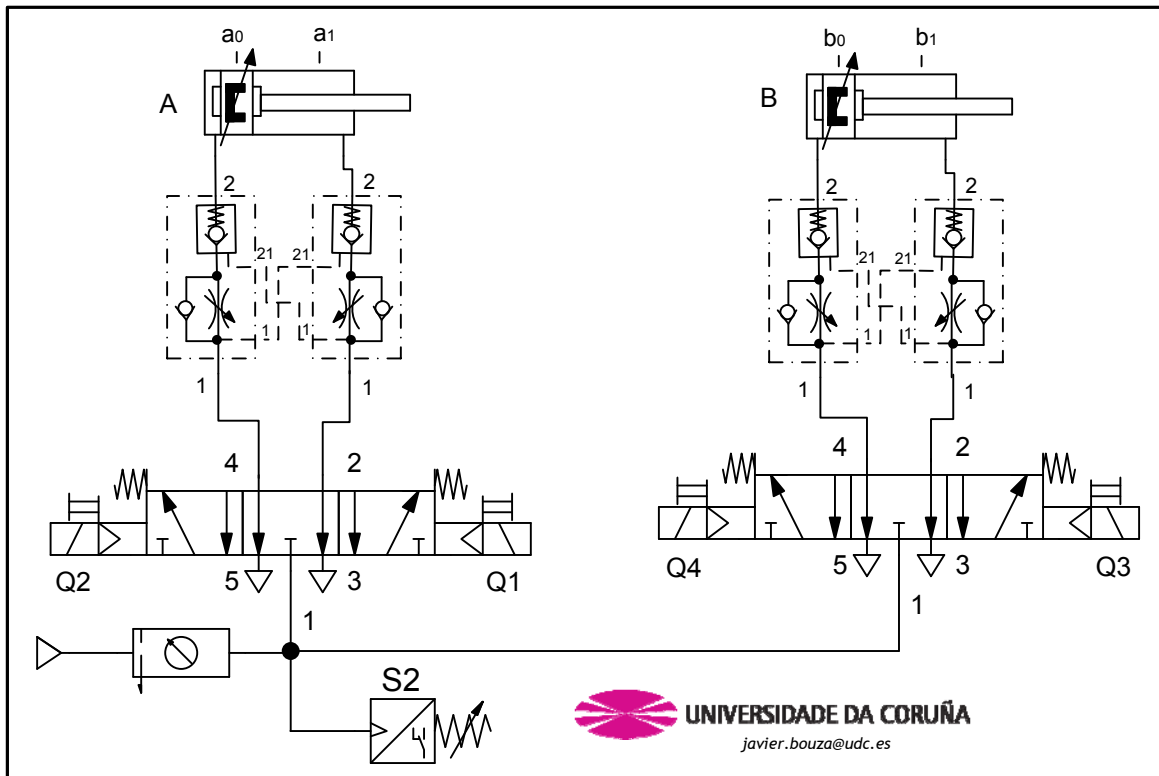


Figura 6.6.8.2.- Esquema funcional del sistema electroneumático opción 1 - Caso IV

La segunda opción, suaviza y mejora el comportamiento dinámico con cilindros y cargas elevadas. Para ello se añade, a la opción 1, unas válvulas

limitadoras de presión después de las válvulas compactas que se taran entre un 30 y un 50% mayor que la presión del sistema. Estas se encargaran de eliminar sobrepresiones que queden en las cámaras de los cilindros cuando se paran. Y serán las válvulas compactas tanto las responsables de bloquear los cilindros como de rellenar los vacíos (sus antirretornos abrirán) en el momento de parada.

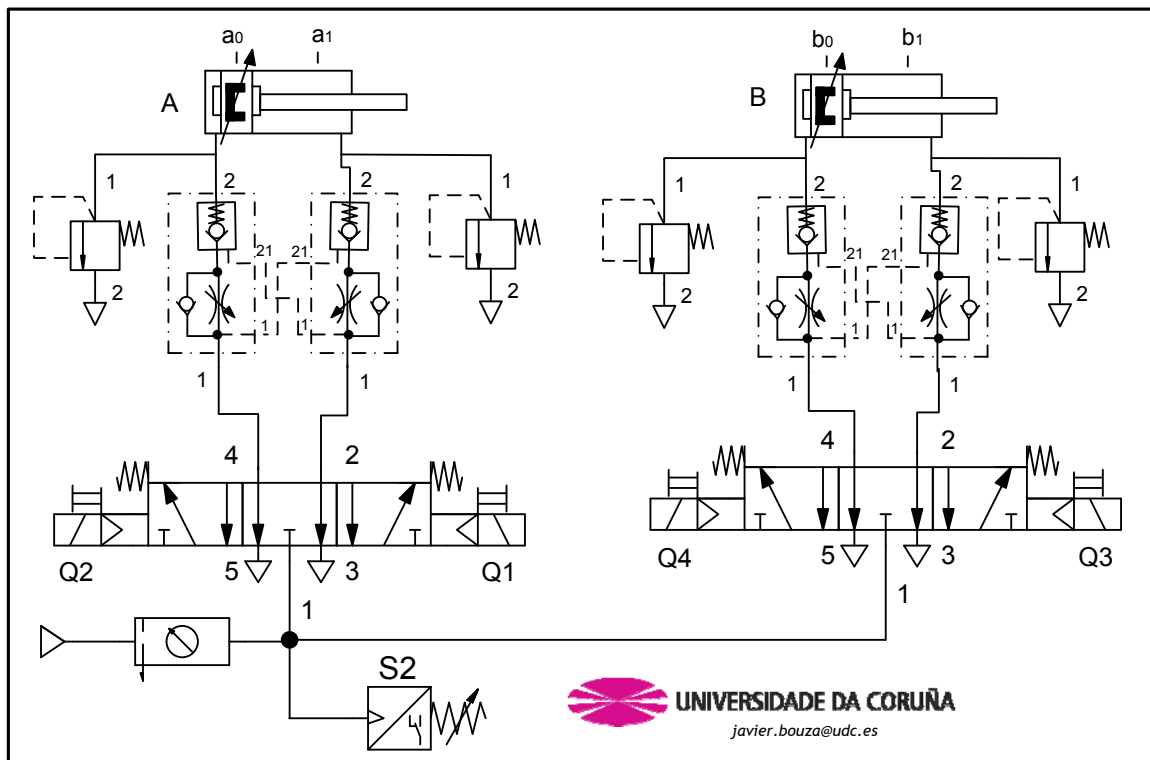


Figura 6.6.8.3.- Esquema funcional del sistema electro neumático opción 2 - Caso IV

En la solución para el circuito electrohidráulico, se propone controlar la velocidad de los actuadores y emplear las válvulas de freno, en vez, de las válvulas antirretornos desbloqueables. Los distribuidores de potencia son electropilotados con posición central libre. Además, para su selección se tendrá en cuenta la sobreposición y se les montará “placas de temporización” para el reglaje del tiempo de conmutación. A mayores, se dispondrá del reglaje por bloques temporizadores en el programa de control.

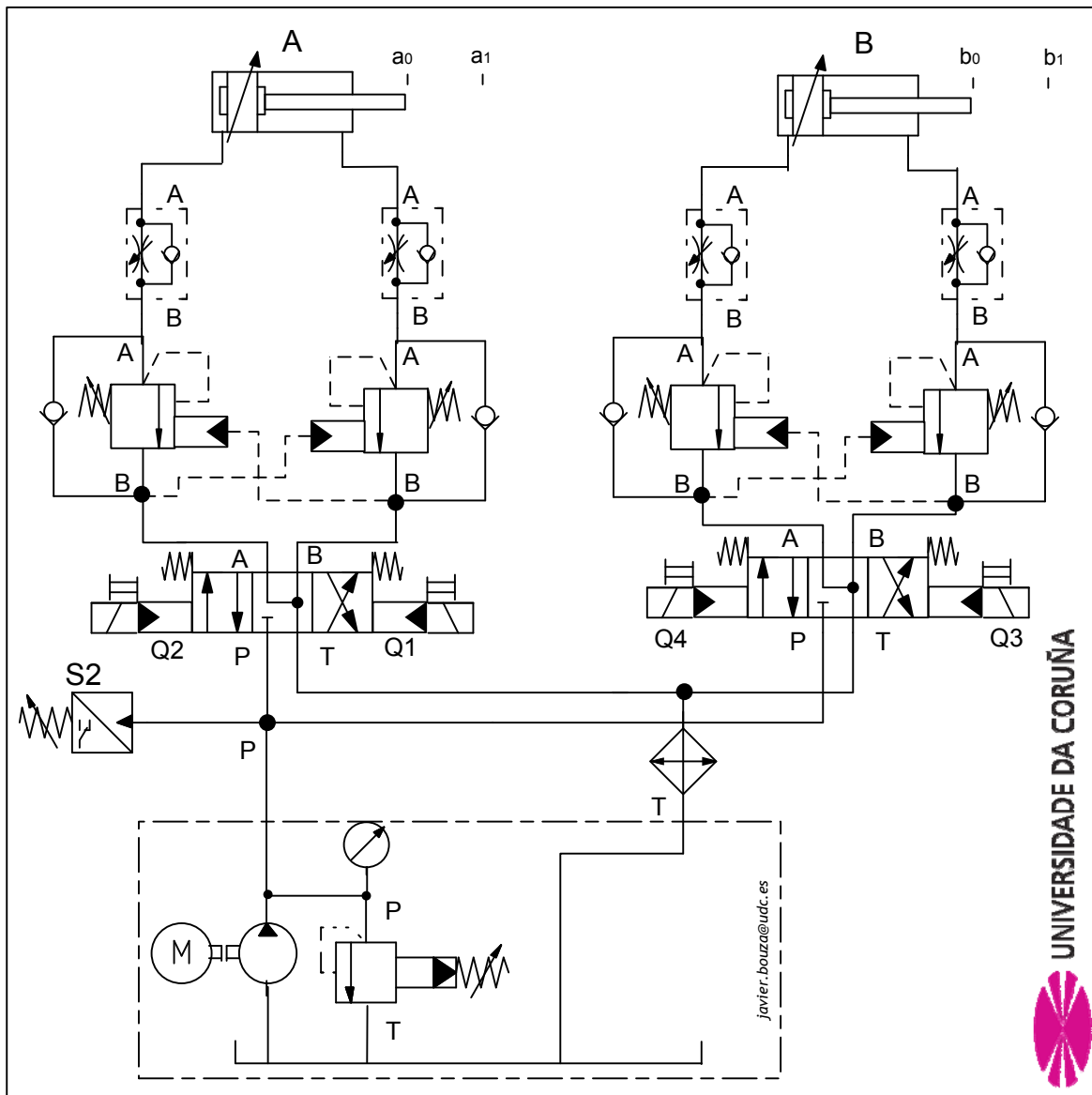


Figura 6.6.8.4.- Esquema funcional del sistema electrohidráulico- Caso IV

La válvula de freno es un elemento de retención y de seguridad que infiere en el circuito un comportamiento dinámico superior al uso de los antirretornos pilotados. Su funcionamiento se ilustra en la siguiente figura: Cuando se da orden de parada se sitúan los distribuidores 4/3 en posición central y desaparece la señal de pilotaje externa “X” en la válvula de freno. Esta cerrará, manteniendo sujeto a los actuadores con una presión constante y eliminando los golpes de ariete debido a cortes bruscos o inercias elevadas. En

este caso, la válvula trabaja como una limitadora de presión cuyo “valor tarado” ajusta la contrapresión que se realiza sobre el actuador. Por el contrario, cuando avanzan o retroceden los actuadores, existe una señal de pilotaje suficiente en “X”, lo que provoca la apertura de la válvula y, consiguientemente, se elimina la contrapresión que se sufrirá en la cámara opuesta del cilindro debido al pilotaje interno. Esto permite, en los actuadores, disponer de la totalidad de la presión existente sobre la sección sobre la que actúa la presión y no restarles fuerza.

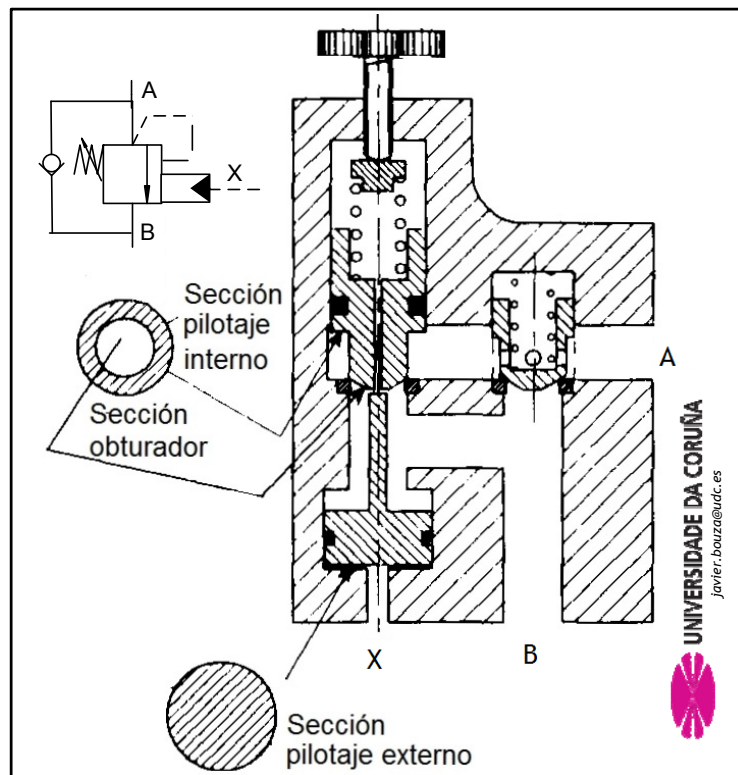


Figura 6.6.8.5.- Croquis de funcionamiento de la válvula de freno

En la figura 6.6.8.4 se muestra la solución electrohidráulica adoptada con dos distribuidores 4/3, accionados electromagnéticamente y servopilotados hidráulicamente con posición central libre, acompañados de válvulas de freno y de válvulas reguladoras de caudal.

En esta solución electrohidráulica, se recuerda que:

- i. El hecho de escoger válvulas servopilotados hidráulicamente permitirá ajustar la sobreposición en la conmutación mediante placa opcional de temporización (ajuste de los tiempos de conmutación).
- ii. El taraje de las válvulas de freno estará entre un 30% y un 50% por encima de la carga máxima móvil de los actuadores (se incluye peso del émbolo y del vástago del cilindro, en caso de gran tamaño).
- iii. El uso de la “regulación a la salida”, en los actuadores, permitirá una mayor precisión en los ajustes de la velocidad pero, en contrapartida, se producirán en el circuito hidráulico los siguientes efectos:
  - a. efectos multiplicativos de presión en las líneas de retorno, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de escoger elementos y realizar el diseño de la línea,
  - b. e importantes caídas de presión en los elementos reguladores de caudal (consecuencia de los efectos multiplicativos), lo que generará un calentamiento importante del fluido y del sistema. Por tanto, es necesario diseñar un sistema de refrigeración adecuada cuando se emplee la “regulación a la salida”. En este caso se instala un enfriador en la línea de retorno a tanque.

Todos estos aspectos repercutirán en el comportamiento dinámico estable y seguro del sistema electrohidráulico diseñado.

A continuación, se muestra como introducir los bloques temporizadores en el programa de control, tanto para la solución electroneumática como para la electrohidráulica. En este caso, los bloque temporizadores permiten el reglaje de los tiempos de conmutación en los distribuidores de potencia A y B.



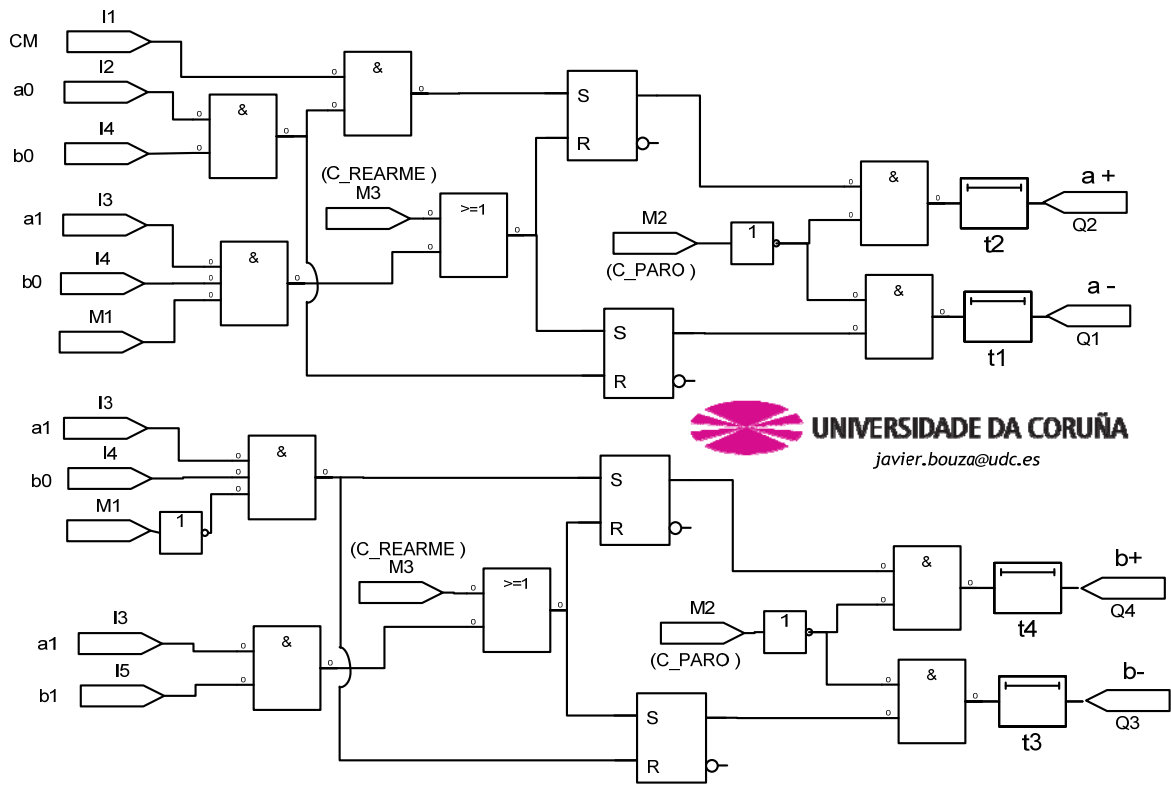


Figura 6.6.8.6.- FBD Caso IV : Distribuidores A y B.

Cada accionamiento del distribuidor dispone de un temporizador con retardo a la conexión que le permite ajustar su tiempo de conmutación con respecto no sólo a su propia orden de mando sino con respecto al accionamiento antagónico y a los accionamientos de los otros distribuidores.

Es importante indicar que en el caso de fallo eléctrico esta temporización no minimiza el efecto del corte. Y será la sobreposición del distribuidor, sus elementos auxiliares (como la placa temporizadora), las válvulas limitadoras de presión y de freno y los antirretornos montados en el circuito los encargados de hacerlo.

## **6.7 Bloques de Función definidos**

### **6.7.1 Introducción**

Esta sección de la Tesis surge, como consecuencia, de lo estudiado e investigado en los apartados anteriores, y con el objetivo de definir “recursos” que permitan facilitar el diseño de control de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos industriales de manera eficiente. En estos apartados, se muestra una propuesta de “Bloques de función definidos” que son bloques lógicos predefinidos que podrán usarse para el desarrollo del programa lógico de control. Este recurso, como se demostrará, incrementa la eficiencia de la labor de diseño de manera notable.

Entre las ventajas de esta propuesta de “Bloques de función definidos”, se encuentran que:

- i. Tecnifica el proceso de diseño y evita errores o incongruencias en la lógica de control.
- ii. Permite desarrollar programas de control más legibles y reducir su tamaño.
- iii. Reduce el tiempo de programación al disponer de una librería de referencia.
- iv. Permite realizar de manera más centralizada todos los cambios en la lógica de control.
- v. Mejora la gestión de la información debido a su estructuración y estandarización.
- vi. Reduce costes de diseño.

6.7.2 Librería de Bloques de función general

6.7.2.1 Función Paro

El primer bloque de Paro tiene dos variantes, una de ellas con una entrada auxiliar (con contacto normalmente cerrado) para las condiciones de seguridad. En la primera, denominada “Bloque PARO 1”, solo será posible desactivar la “Condición de PARO” cuando la entrada “Paro” esté desactivada. Por tanto, en el caso de emplear un interruptor de Paro con enclavamiento, será necesario desenclavarlo para que el pulsador de Marcha o el de Rearme borren la “Condición de PARO”.

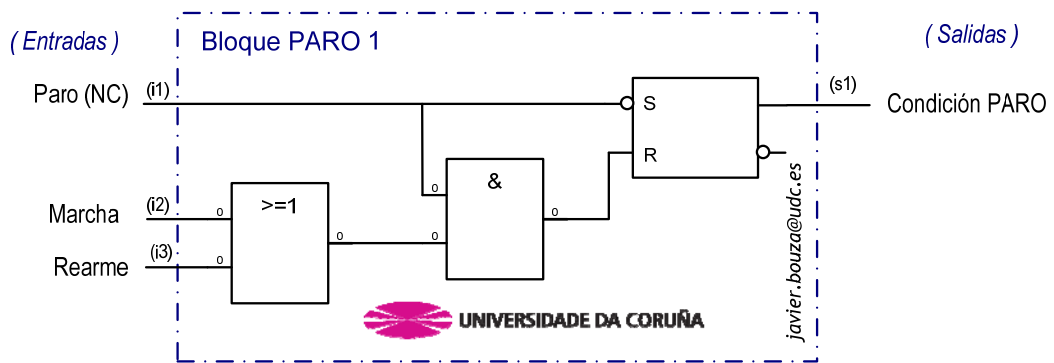


Figura 6.7.2.1.1.- Bloque de Paro 1.

En esta segunda variante, “Bloque PARO 1 múltiple”, es necesario que las dos entradas “Paro” y “Paro auxiliar” estén desactivadas para borrar la “Condición de PARO”.

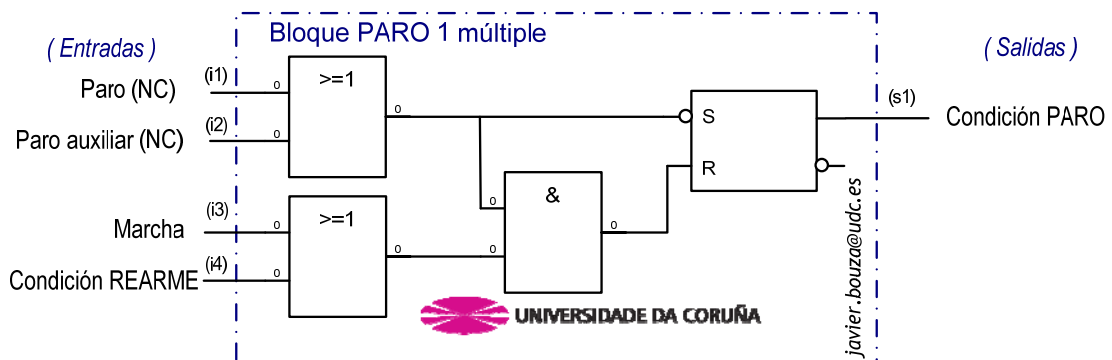


Figura 6.7.2.1.2.- Bloque de Paro 1 múltiple.

La segunda propuesta de bloque de Paro, se utiliza en circuitos implementados con “Paro con corte de energía”, tanto con “reseteo” como con “mantenimiento” de las memorias de control. También, se presentan dos variantes:

La primera variante “Bloque PARO 2”: Deja indefinidamente activada la salida “Acción PARO” una vez pisada la “Marcha” o activado el “Rearme”. Y hasta que se produzca un “Paro” o se active su entrada auxiliar no se desactivará la “Acción PARO”.

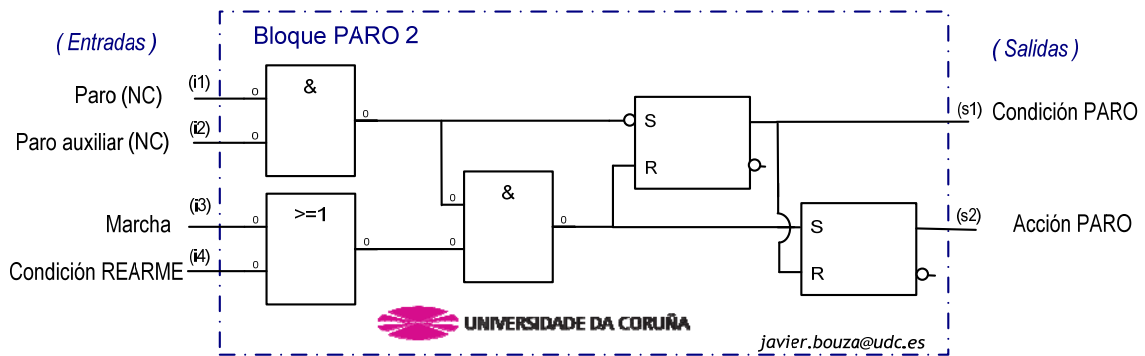


Figura 6.7.2.1.3.- Bloque de Paro 2.

La segunda variante “Bloque PARO 2 múltiple”: Una vez pisada la “Marcha” o activado el “Rearme” se activa la salida “Acción PARO”, hasta que se produzca un “Paro” o se activen sus entradas “Paro auxiliar” o “Fin Acción PARO”.

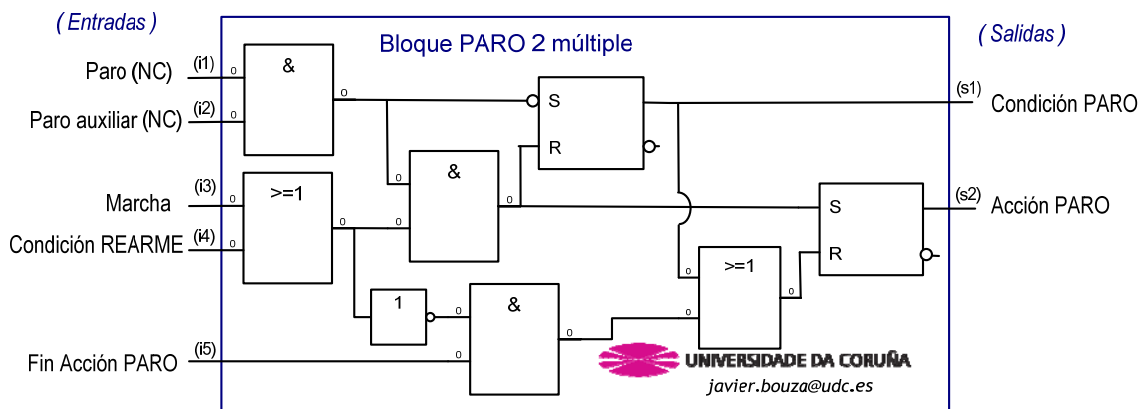


Figura 6.7.2.1.4.- Bloque de Paro 2 múltiple.

6.7.2.2 Función Rearme

En el bloque de REARME, además de la señal de activación (e. ej. Pulsador de Rearme) se incorpora las siguientes entradas: “Condición Prioritaria” que es aquella condición que si no esta activada, cuando se solicita el “Rearme”, no será posible la “Condición de Rearme”; y la entrada “Fin REARME” que permite borrar la “Condición REARME”.

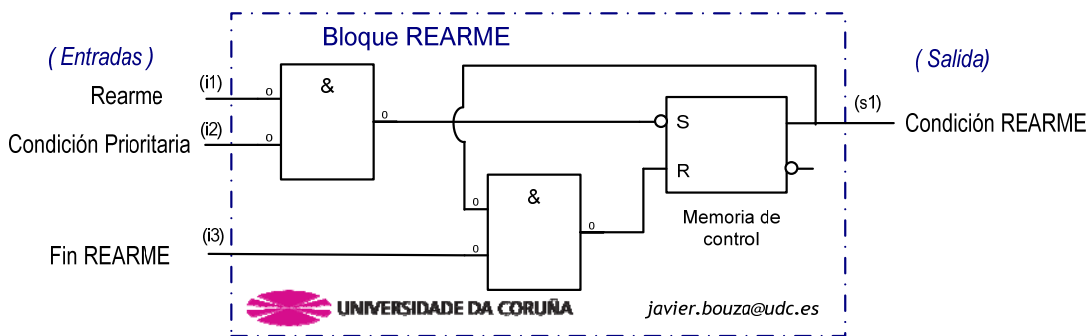


Figura 6.7.2.2.1- Bloque de Rearme.

6.7.2.3 Control Monoestable

A continuación, se muestran los bloques que sirve para el control de las electroválvulas monoestables con una posición inestable. El bloque permite gobernar dicho estado de la electroválvula.

El primer bloque monoestable, “MONOESTABLE 1”, se emplea cuando la salida “ACCIÓN 1” es la primera de la secuencia.

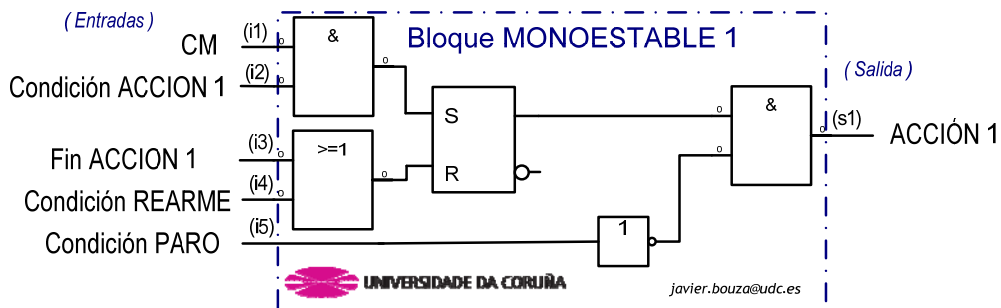


Figura 6.7.2.3.1.- Bloque Monoestable 1.

El segundo bloque monoestable, “MONOESTABLE 2”, se utiliza cuando la salida “ACCIÓN 1” no es la primera de la secuencia.

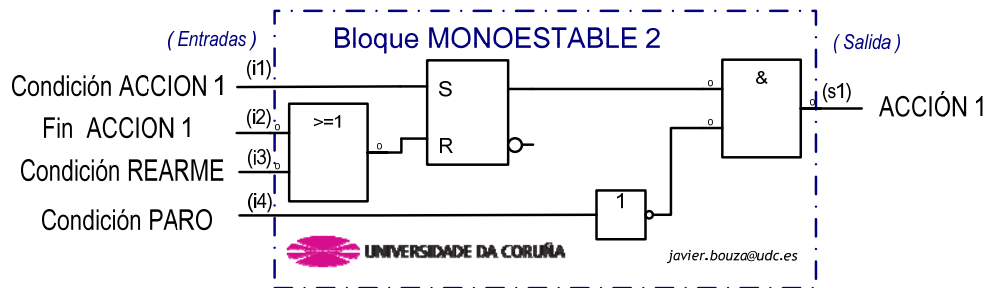


Figura 6.7.2.3.2.- Bloque Monoestable 2.

El tercer bloque monoestable, “MONOESTABLE 2 múltiple”, se usa cuando la salida “ACCIÓN 1” se repite varias veces en una misma secuencia. Como máximo tres veces. En caso de menos, se repite una de las órdenes que ejecuta la ACCIÓN para cubrir la entrada que falta.

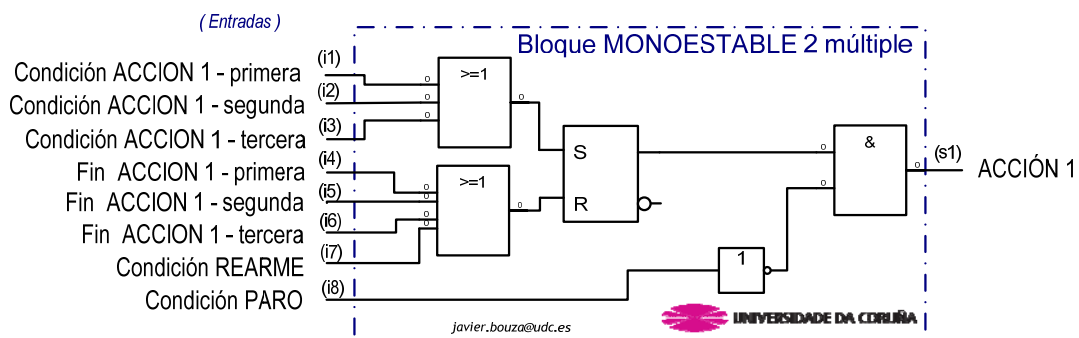


Figura 6.7.2.3.3.- Bloque Monoestable 2 múltiple.

### 6.7.2.4 Control Biestable

En este apartado, se muestran los bloques que sirven para el control de las electroválvulas biestables de 2 posiciones y las monoestables de 3 posiciones. Cada bloque, que se propone, permitirá gobernar los dos estados accionados, electromagnéticamente o electropilotados flúidicamente, del distribuidor.

El primer bloque, “BIESTABLE 1”, se emplea cuando la salida “ACCIÓN 1” es la primera de la secuencia.

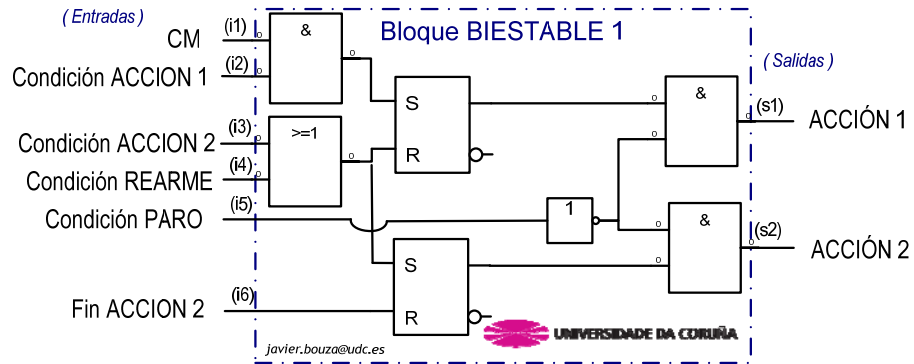


Figura 6.7.2.4.1.- Bloque Biestable 1.

El segundo bloque biestable, “BIESTABLE 1 múltiple”, se emplea cuando la salida “ACCION 1” es la primera de la secuencia pero se repite más veces. Como máximo tres veces en la secuencia. En caso de menos, se repite una de las órdenes que ejecuta la ACCIÓN para cubrir la entrada que falta.

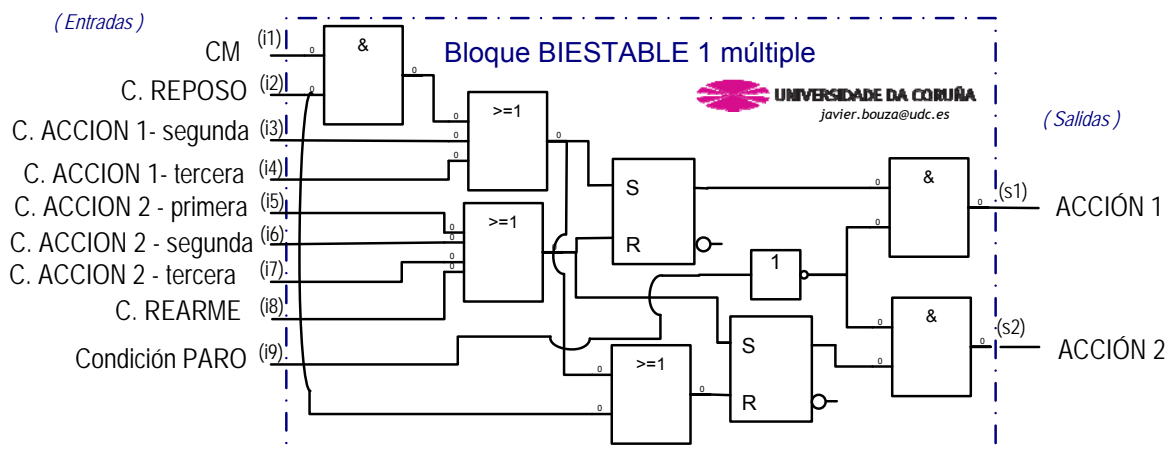


Figura 6.7.2.4.2.- Bloque Biestable 1 múltiple.

El tercer bloque, “BIESTABLE 2”, se emplea cuando la salida “ACCIÓN 1” no es la primera de la secuencia y la “ACCIÓN 2” resetea la “ACCIÓN 1”

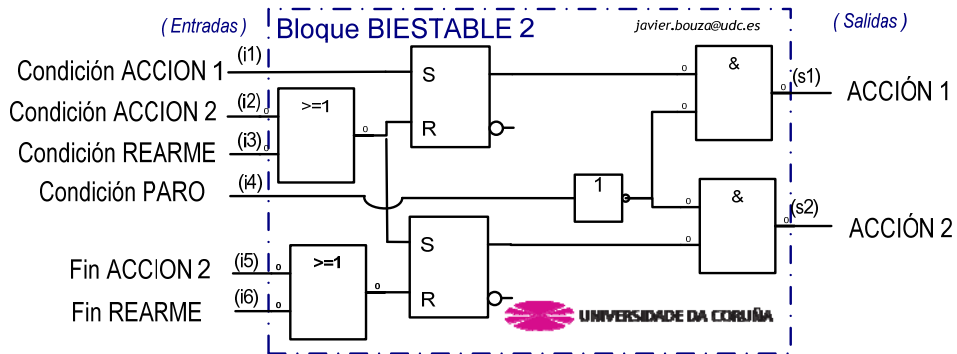


Figura 6.7.2.4.3.- Bloque Biestable 2.

El cuarto bloque, “BIESTABLE 2 múltiple”, también se emplea cuando la salida “ACCION 1” no es la primera de la secuencia pero, además, se repite como máximo 3 veces. En caso de menos, se repite una de las órdenes que ejecuta la ACCIÓN para cubrir la entrada que falta.

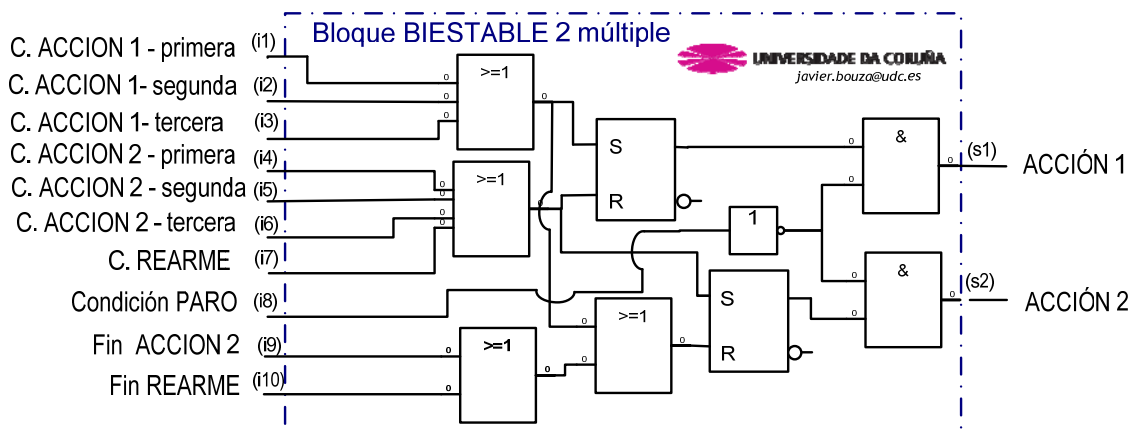


Figura 6.7.2.4.4.- Bloque Biestable 2 múltiple.



El quinto bloque, “BIESTABLE 3”, se emplea cuando la “ACCIÓN 2” no resetea la “ACCION 1”. Este es el caso de que el distribuidor de potencia conjuntamente con los elementos de bloqueo del circuito fluídico garantizan el efecto de la “ACCIÓN 1” hasta que entra la “ACCION 2”

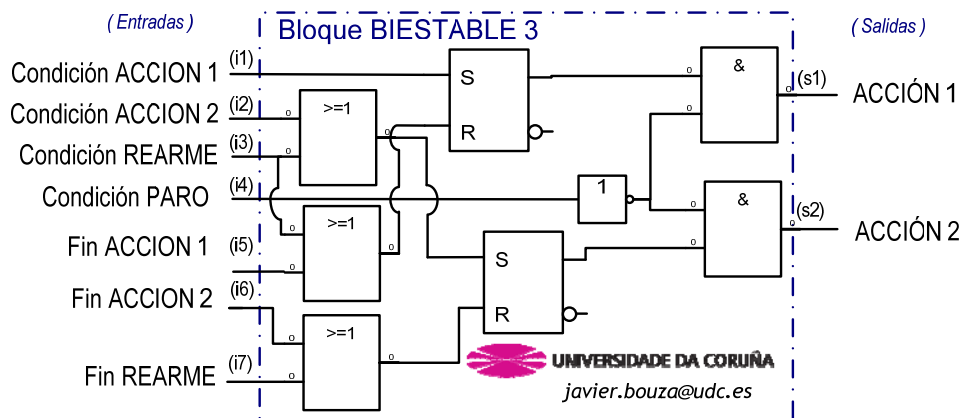


Figura 6.7.2.4.5.- Bloque Biestable 3.

### 6.7.2.5 Modo Ciclo Continúo

En el siguiente bloque se trata el modo de operación “Ciclo Continúo” que permite definir el número de ciclos que se desea realizar en una secuencia. Para desarrollar esta condición se emplea una memoria biestable RS y un contador que, mediante un impulso, incrementa o produce decremento de un valor de contaje interno.

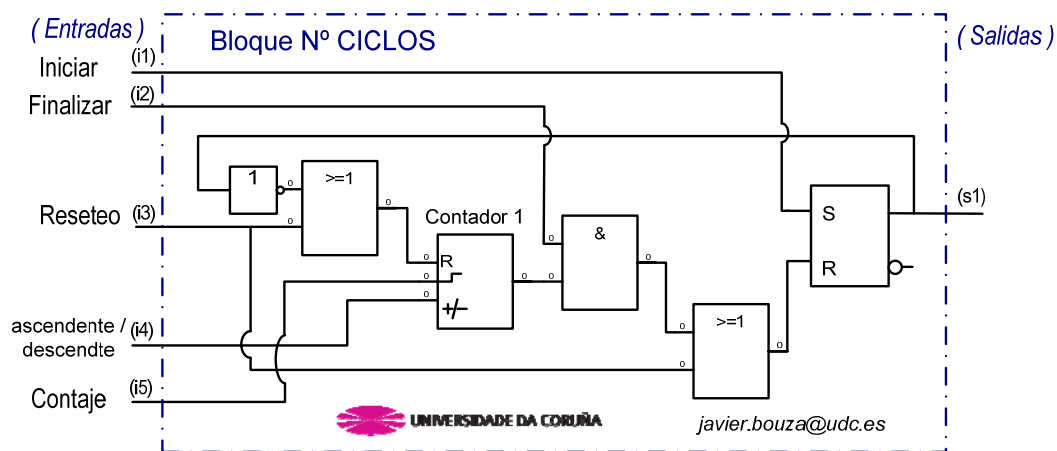


Figura 6.7.2.5.1.- Bloque definido N° Ciclos.

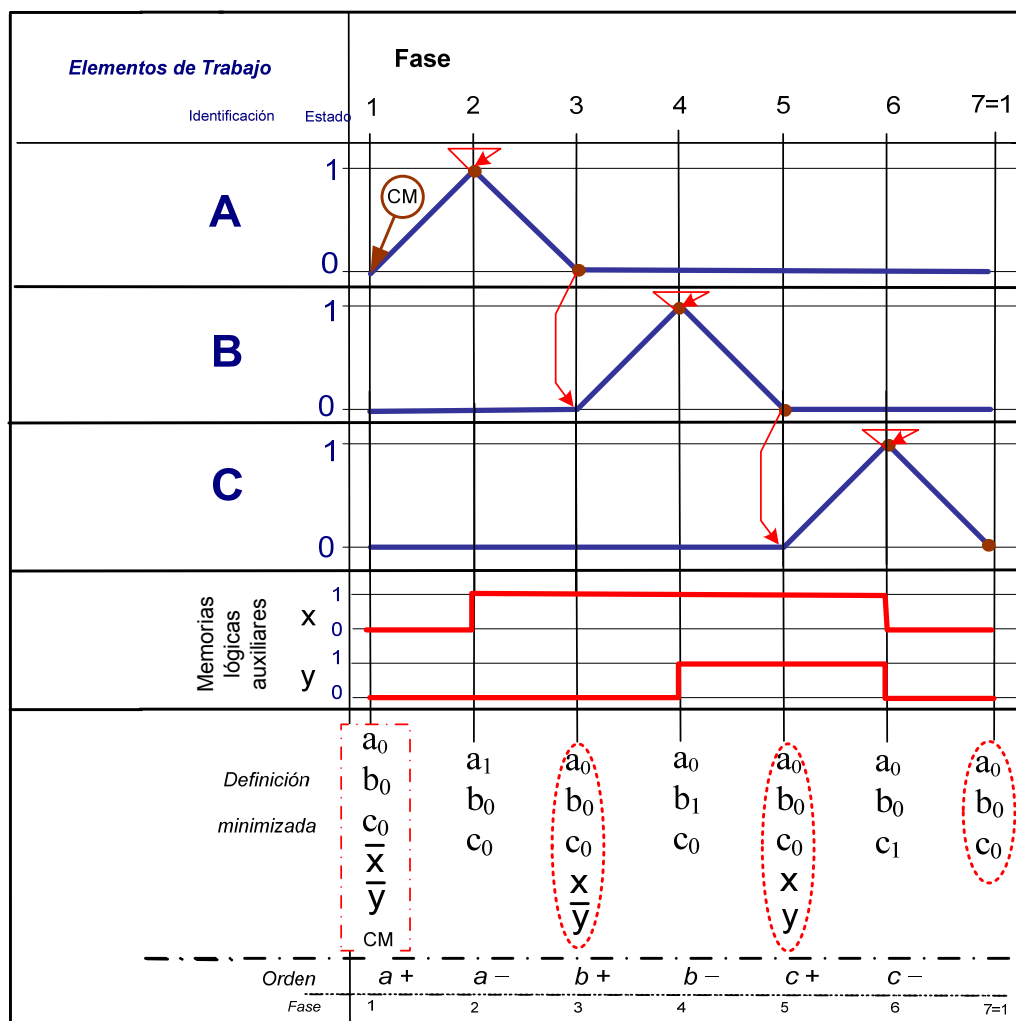
En este bloque, “N° ciclos”:

- la entrada “Iniciar” activa el contador;
- la entrada “Finalizar” desactiva el contador una vez alcanzado el valor de contaje,
- la entrada “ascendente/ descendente” se define, respectivamente, por los valores “0” (por defecto) o “1”
- en la entrada de “Contaje” se introduce la señal de computo (cuenta el flanco ascendente de la misma)
- existe una entrada de “Reseteo”.
- se puede parametrizar internamente el valor umbral de la salida mediante la definición del límite de conexión y desconexión, así como ajustar el valor inicial del contador.

6.7.3 Ejemplos prácticos

6.7.3.1 Caso I

Se empieza la puesta en práctica del diseño, mediante Bloques de Función definidos, con el caso I del Método combinacional II: tres actuadores que practican en serie un ciclo completo cada uno. Para este caso se ha optado por la solución minimizada, estudiada anteriormente:



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 6.7.3.1.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C-

Se escoge para su implementación: “*Paro con corte de energía fluidica y mantenimiento de las memorias de control*”. El Paro se logra mediante la supresión de la energía fluidica por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la “caída de la fuente de energía fluidica” (grupo hidráulico o compresor) pero se mantiene el estado interno del subsistema de control (no se produce el reseteo de las memorias de control). Esto último permite, al Subsistema de control disponer de capacidad de memoria del estado previo a la parada.

A continuación, se muestran los circuitos fluidicos de potencia: Primeramente la solución electrohidráulica y, luego, la solución electropneumática.

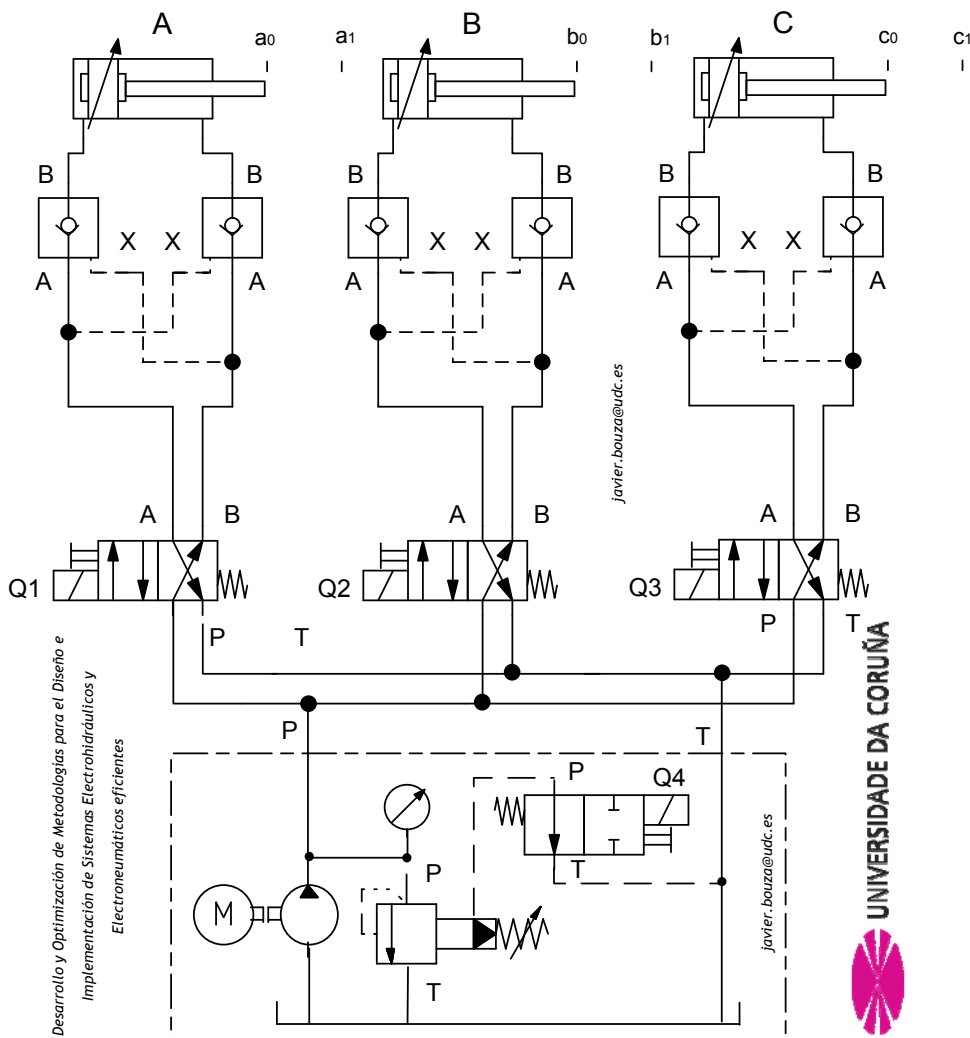


Figura 6.7.3.1.2.- Circuito funcional del sistema electrohidráulico - caso I Bloques de Función.

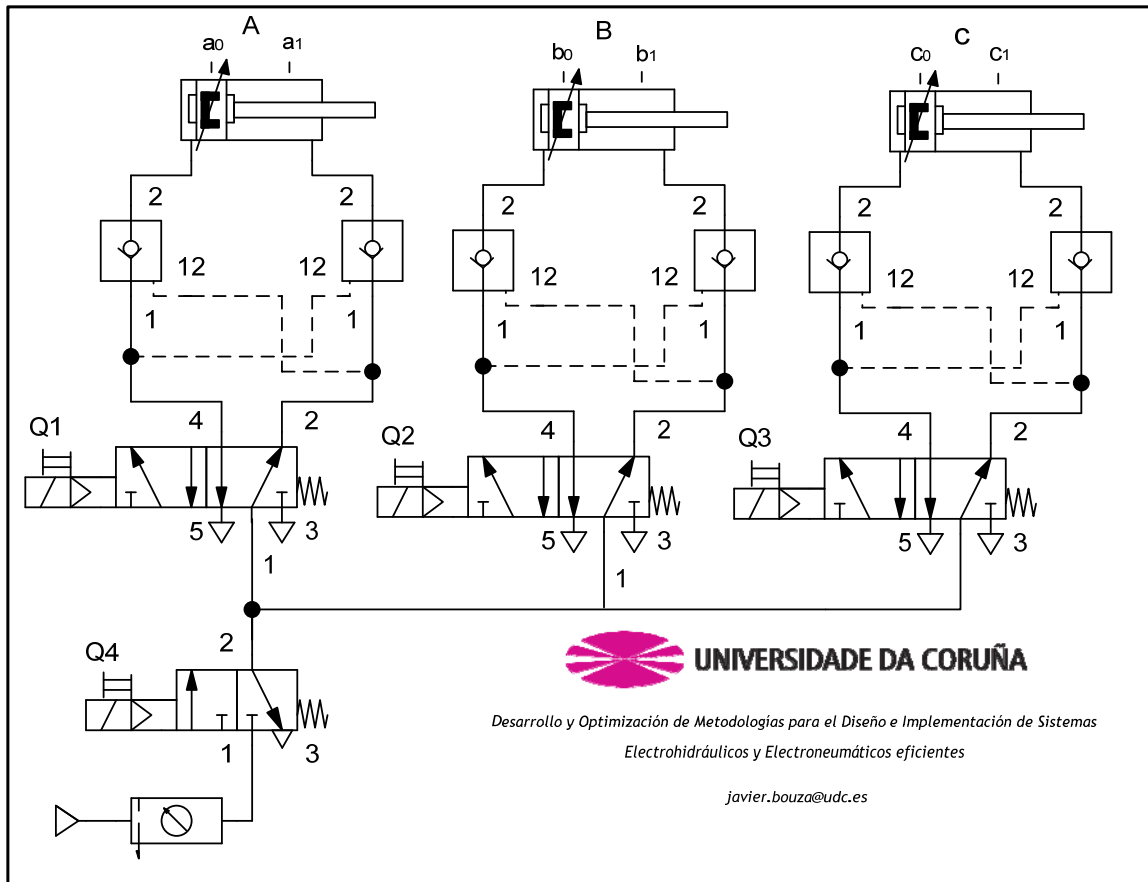


Figura 6.7.3.1.3.- Circuito funcional del sistema electro neumático - caso I Bloques de Función.

Las variables del algoritmo de control son:

Tabla 6.7.3.1.1- Entradas Caso I - Bloques de Función.

| Entrada | Designación | Observación                    |
|---------|-------------|--------------------------------|
| I1      | $a_0$       | Sensor reed (NA) <sup>55</sup> |
| I2      | $a_1$       | Sensor reed (NA)               |
| I3      | $b_0$       | Sensor reed (NA)               |
| I4      | $b_1$       | Sensor reed (NA)               |
| I5      | $c_0$       | Sensor reed (NA)               |
| I6      | $c_1$       | Sensor reed (NA)               |

<sup>55</sup> NA = normalmente abierto

| <i>Entrada</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>  |
|----------------|--------------------|---|
| I7             | CM                 | Pulsador de Marcha (NA)   |
| I8             | PARO               | Interruptor de Paro (NC) <sup>56</sup>  |
| I9             | REARME             | Pulsador de Rearme (NA)   |
| I10            | PRESENCIA          | Condición de seguridad (NC). Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina |

Tabla 6.7.3.1.2.- Salidas Caso I - Bloques de Función.

| <i>Salida</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>                            |
|---------------|--------------------|---|
| Q1            | a +                | Actuación A +/ (Actuación A – desactivada Q1) |
| Q2            | b+                 | Actuación B +/ (Actuación B – desactivada Q2) |
| Q3            | c+                 | Actuación C+ / (Actuación C – desactivada Q3) |
| Q4            | Energía Fluídica   | Activa / Desactiva Energía Fluídica           |

Tabla 6.7.3.1.3- Memorias Caso I - Bloques de Función.

| <i>Memoria</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>  |
|----------------|--------------------|---------------------|
| M1             | M1                 | Memoria auxiliar X  |
| M2             | M2                 | Memoria auxiliar Y  |
| M3             | C_PARO             | Condición de Paro   |
| M4             | C_REARME           | Condición de Rearme |

A continuación, se desglosa el programa de control en diferentes módulos y se contrasta la solución estándar mediante FBD con la propuesta de Bloques de Función definidos.

---

<sup>56</sup> NC = normalmente cerrado

Primeramente, se aborda, la función de Paro. Se plantean dos opciones para su funcionamiento normal: Dejar indefinidamente activada la energía fluidica una vez pisada la Marcha o el Rearme por primera vez y hasta que se produzca un Paro no se cortará la energía; ó activar la energía fluidica con la Marcha o el Rearme pero desactivarla siempre al final del ciclo.

La primera opción, mantener activado la energía fluidica una vez pisada Marcha hasta que se pise el Paro, permite tener una rapidez de respuesta mayor que la segunda opción: por un lado, en el circuito neumático, las líneas de trabajo no se vacían; y por otro, en el circuito hidráulico, se mantiene la presión máxima en la línea de trabajo. Pero, en contrapartida, en esta primera opción el consumo eléctrico es mayor.

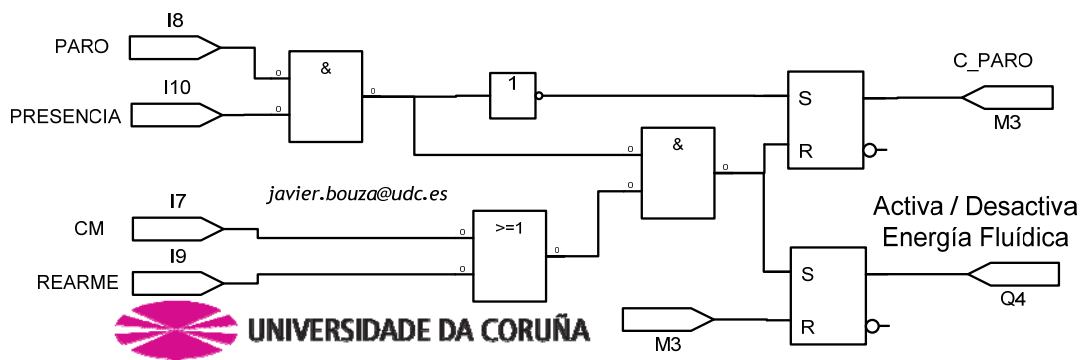


Figura 6.7.3.1.4.- FBD Paro opción 1 - Caso I.

Se emplea un bloque de “PARO 2”

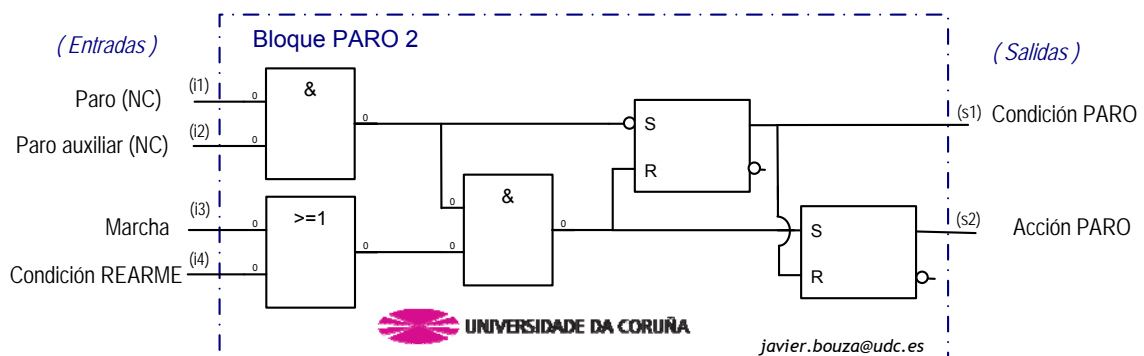


Figura 6.7.3.1.5.- Bloque Paro 2 - Caso I.

Y se sustituye:

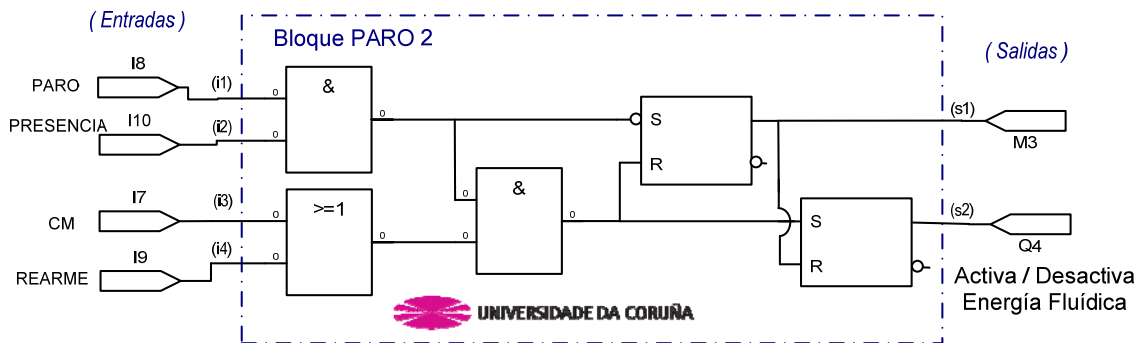


Figura 6.7.3.1.6.-Bloque definido de Paro opción 1 - Caso I.

La segunda opción, activa el aire con la Marcha o el Rearme y al final del ciclo lo desactiva.

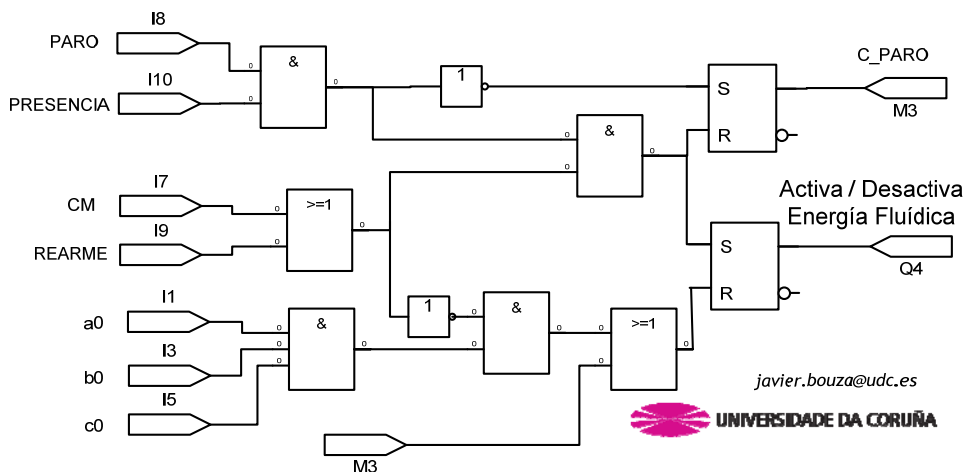


Figura 6.7.3.1.7.- FBD Paro opción 2 - Caso I.

Se emplea un bloque de “PARO 2 múltiple”

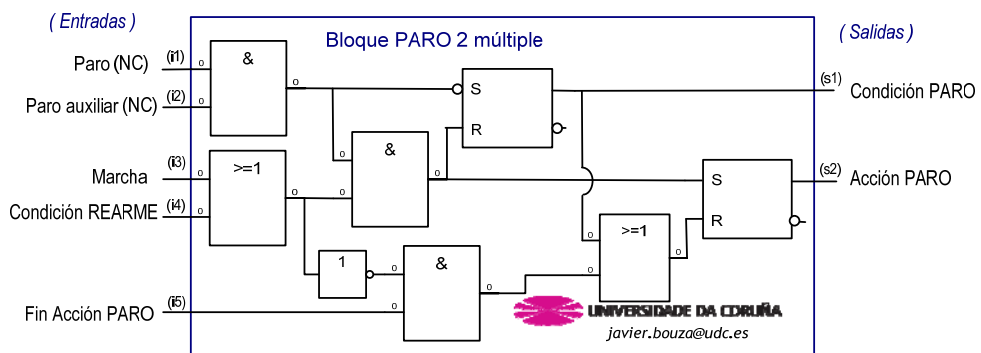


Figura 6.7.3.1.8.- Bloque Paro 2 múltiple - Caso I.



Y se sustituye:

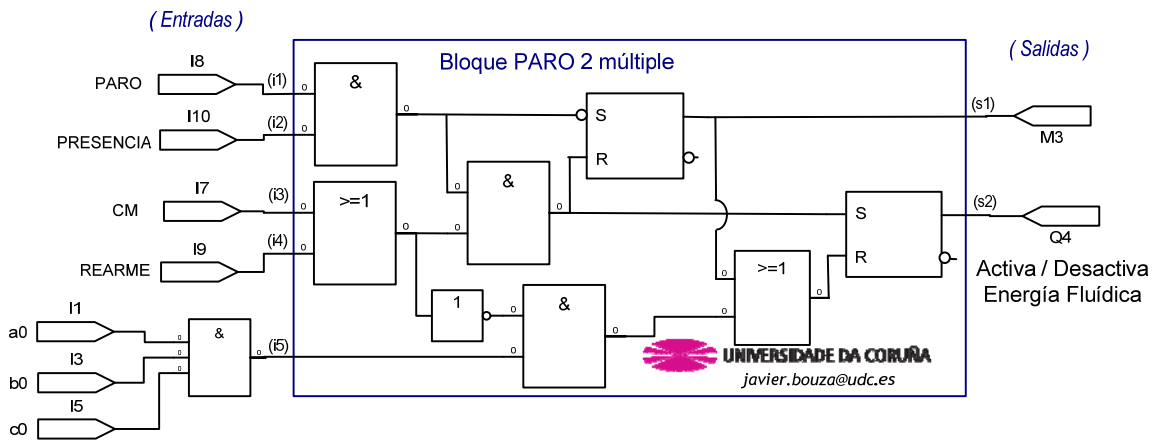


Figura 6.7.3.1.9.- Bloque definido de Paro opción 2- Caso I.

Ahora, se aborda, la función de Rearme

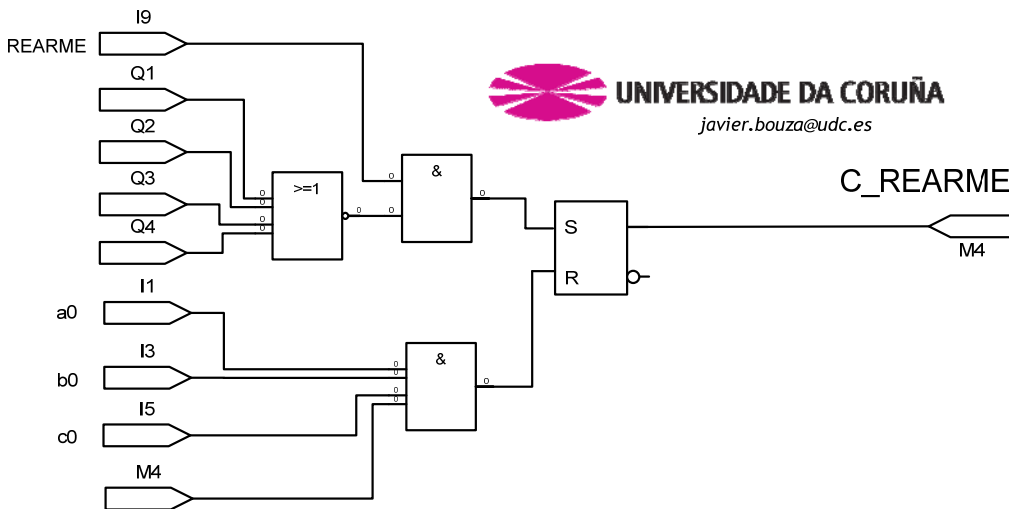


Figura 6.7.3.1.10.- FBD Rearme -Caso I.

Se emplea un bloque “REARME”

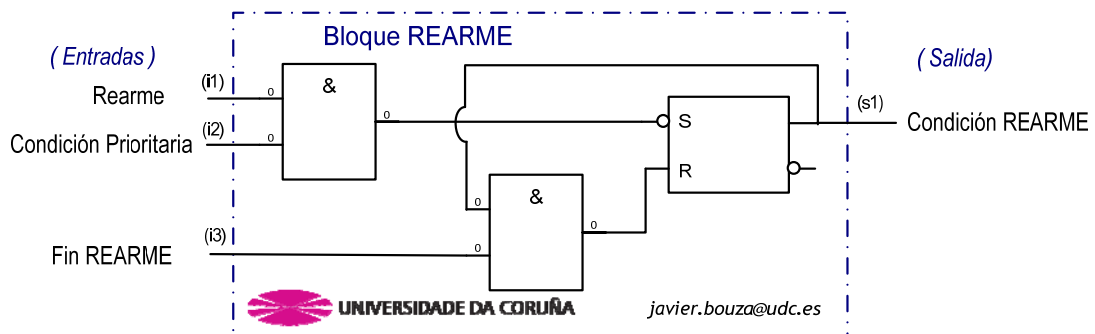


Figura 6.7.3.1.11.- Bloque Reame - Caso I.

Y queda:

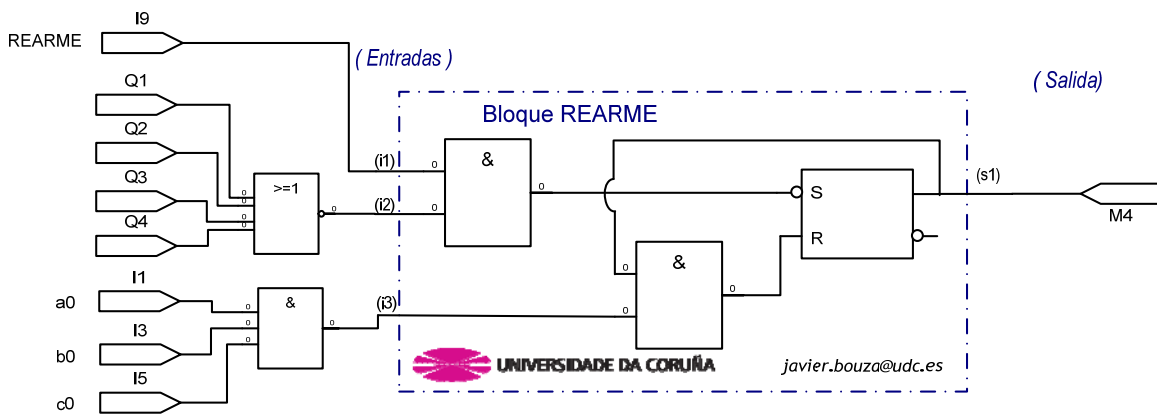


Figura 6.7.3.1.12.- Bloque definido de Rearme - Caso I.

En cuanto, a la definición de las memorias auxiliares no se emplea la solución de Bloques definidos por ser una estructura característica de cada secuencia.

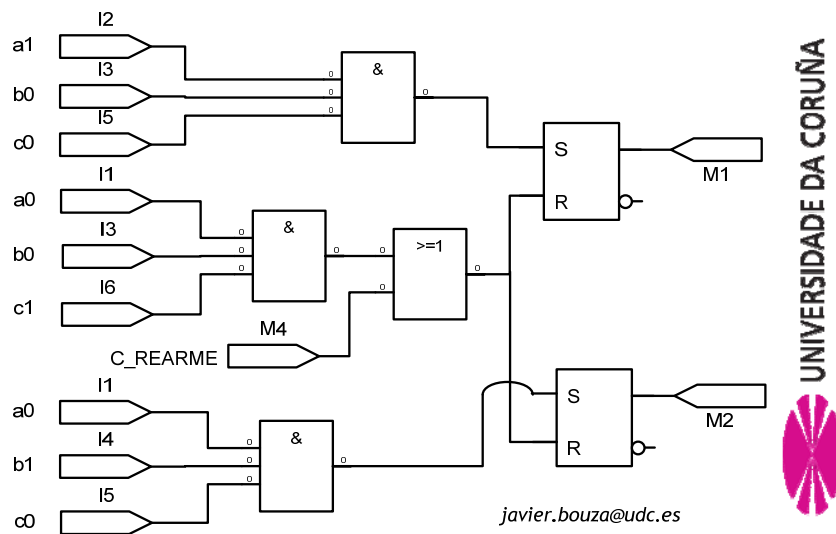
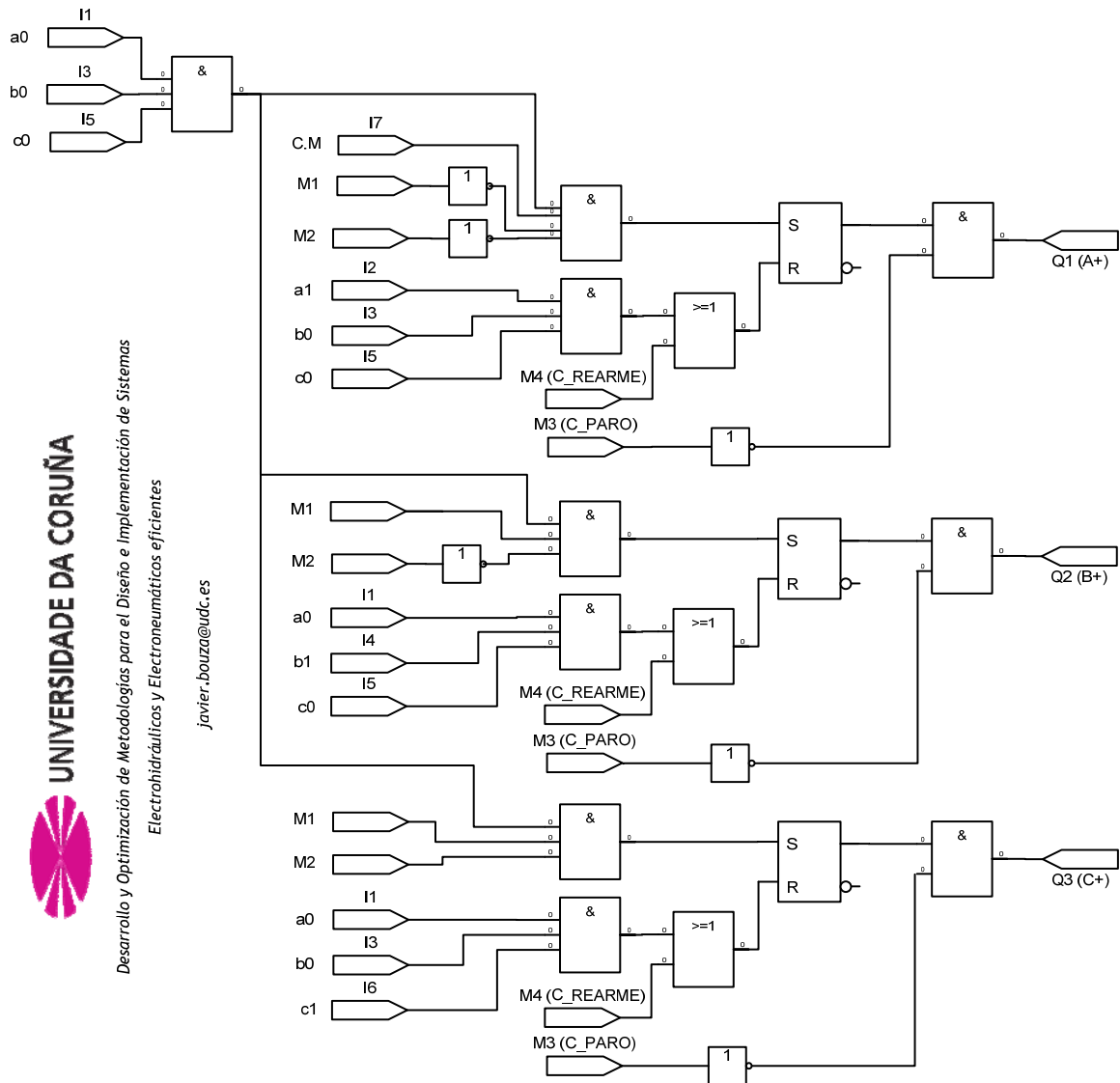


Figura 6.7.3.1.13.- FBD/Bloque memorias auxiliares Caso I.

Para los distribuidores A, B y C, se tiene la siguiente definición:



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
 Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas  
 Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes  
 javier.bouza@udc.es

Figura 6.7.3.1.14.- FBD Control distribuidores - Caso I.

Y se emplea un Bloque “MONOESTABLE 1” para el distribuidor A y dos Bloques “MONOESTABLE 2” para los distribuidores B y C, respectivamente.

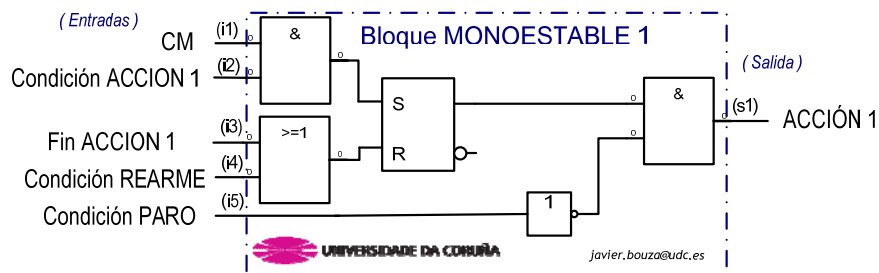


Figura 6.7.3.1.15.-Bloque Monoestable 1- Caso I.

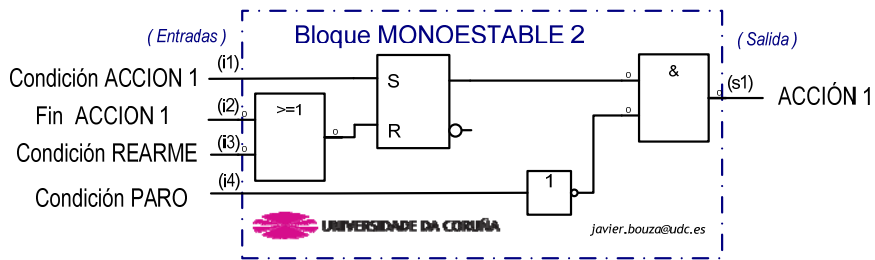


Figura 6.7.3.1.16.- Bloque Monoestable 2- Caso I.

Y queda:

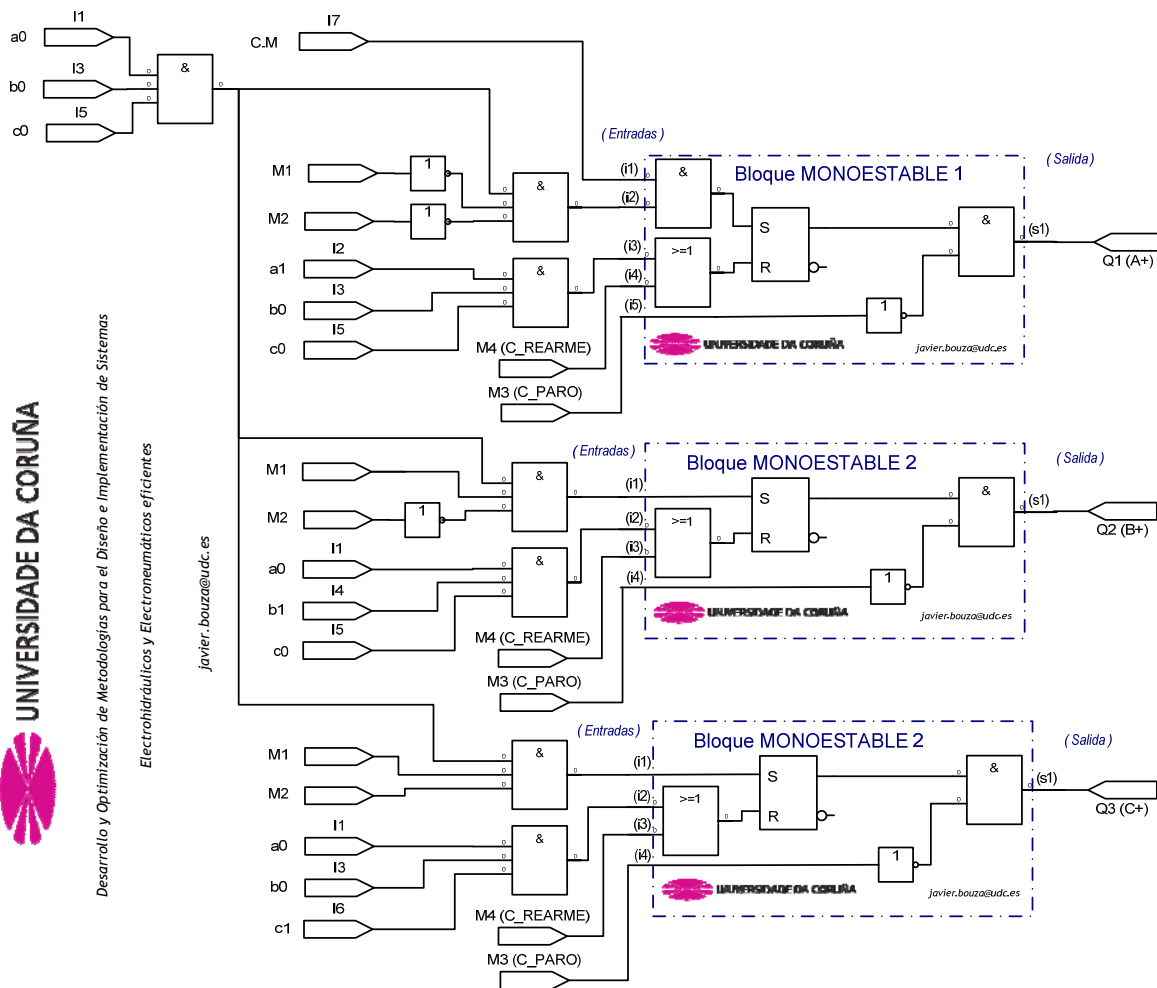


Figura 6.7.3.1.17.- Bloques definidos de distribuidores - Caso I.

6.7.3.2 Caso II

Para esta segundo ejemplo, mediante Bloques de Función definidos, se elige el caso IV del Método combinacional II. En este caso, se presentan dos temporizaciones, en máxima carrera, de un mismo actuador, y se emplea una única memoria para evitar la semejanza. Además, se implementa el modo de operación “Ciclo Continuo” que define el número de ciclos de la secuencia.

Retomando el diagrama simplificado de mando, estudiado anteriormente, se tiene que:

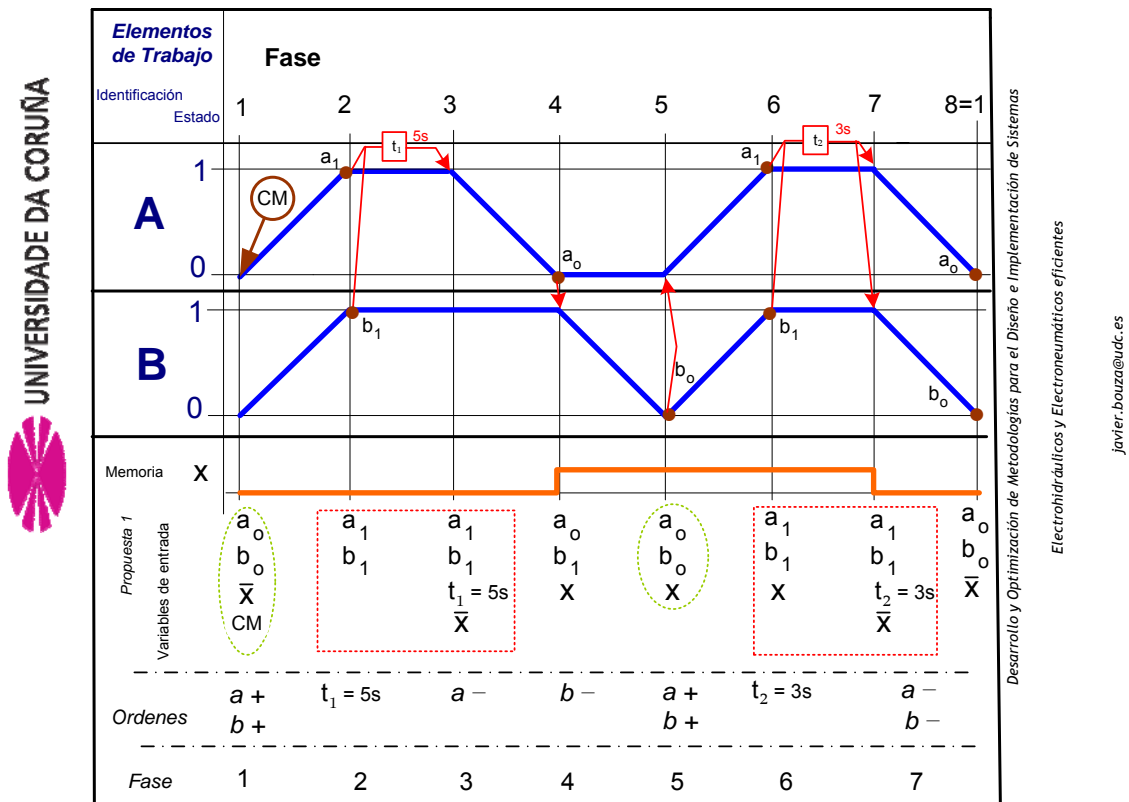


Figura 6.7.3.2.1- Diagrama simplificado sec. A+ B+ A- B- A+B+ A- B-

Se escoge para este caso: “Paro con corte de energía fluidica y mantenimiento de las memorias de control”. El Paro se logra mediante la supresión de la energía fluidica por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la “caída de la fuente de energía fluidica” (grupo hidráulico o compresor) pero se mantiene el estado interno del subsistema de control (no se produce el reseteo de las memorias de control). Esto último permite, al Subsistema de control disponer de una capacidad de memoria del estado previo a la parada. Además, y con respecto al caso I, se incorpora un modo de operatividad de “Ciclo continuo” pudiéndose fijar el número de ciclos a realizar y se incrementan las condiciones de seguridad, al disponer de un sensor que comprueba la presión de servicio.

A continuación, se muestran los circuitos fluidicos de potencia: primeramente la solución electroneumática y luego, la solución electrohidráulica.

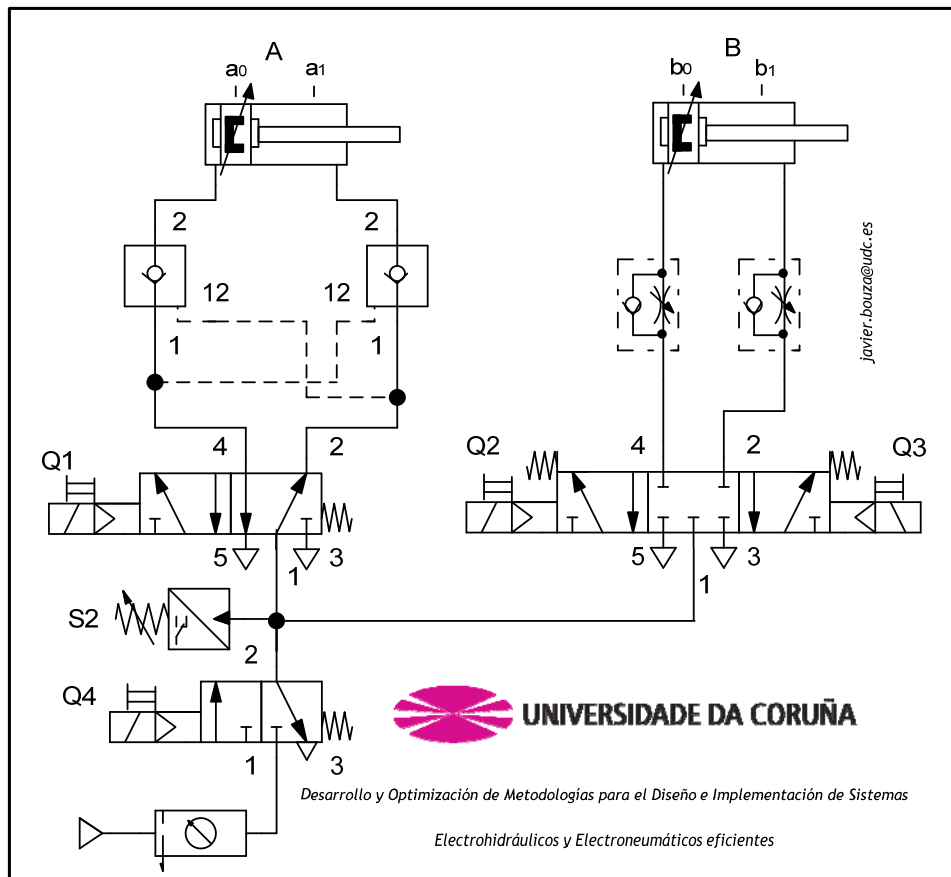


Figura 6.7.3.2.2.- Circuito funcional del sistema electroneumático - caso II Bloques de Función.

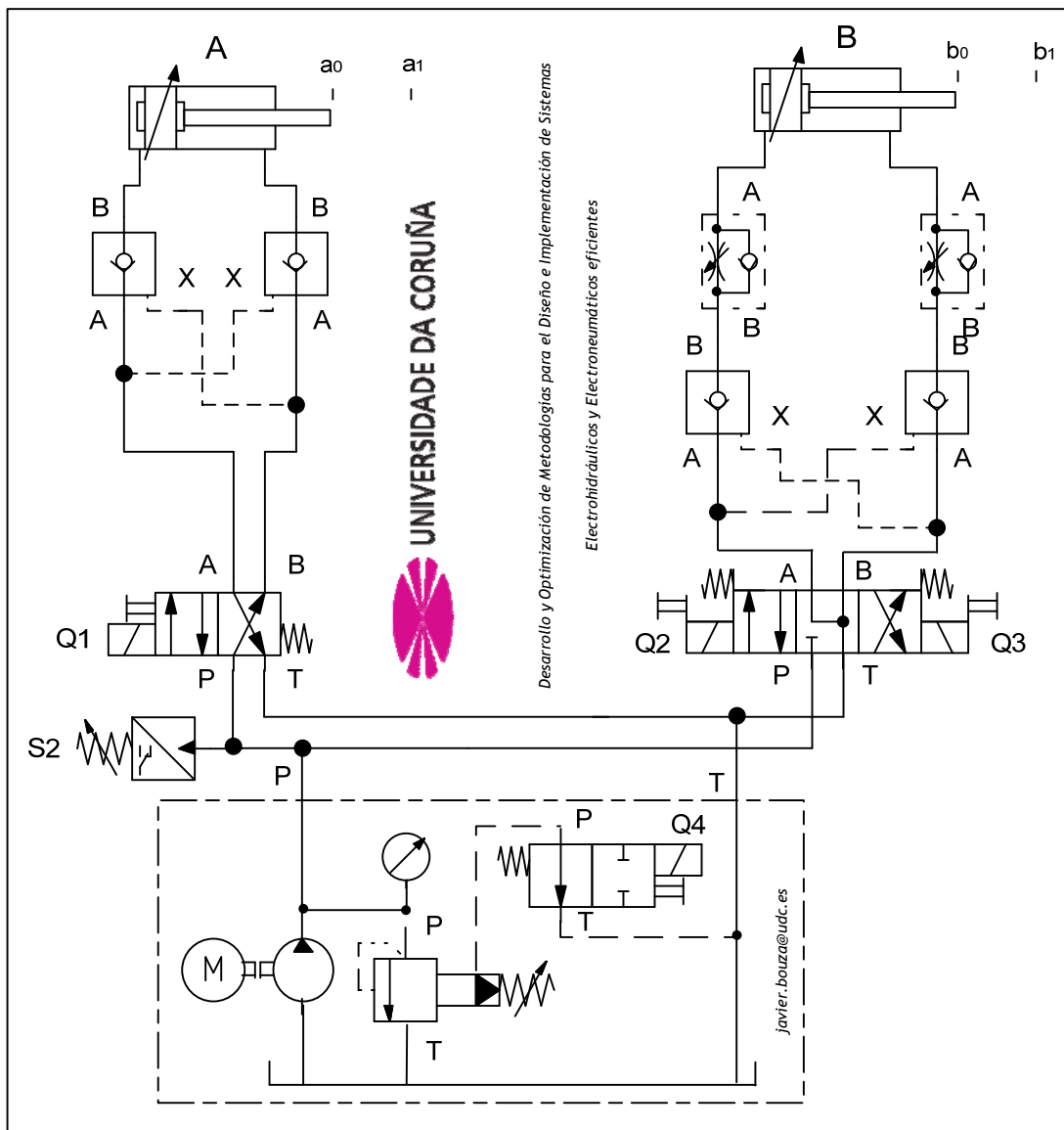


Figura 6.7.3.2.3.- Circuito funcional del sistema electrohidráulico - caso II Bloques de Función.

En ambos circuitos, y para el actuador B, se han incorporado válvulas reguladoras de caudal que permiten regular diferentes valores de su velocidad al avance y al retroceso.

Las variables del algoritmo de control son:

Tabla 6.7.3.2.1.- Entradas Caso II - Bloques de Función.

| <b>Entrada</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>  |
|----------------|--------------------|---|
| I1             | $a_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I2             | $a_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I3             | $b_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I4             | $b_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I5             | CM                 | Pulsador de Marcha (NA) <sup>57</sup>   |
| I6             | REARME             | Pulsador de Rearme (NA)   |
| I7             | PARO               | Interruptor de Paro (NC) <sup>58</sup>  |
| I8             | PIEZA              | Condición de seguridad (NA)<br>Detecta la existencia de pieza de trabajo.                   |
| I9             | PRESENCIA          | S2 = Condición de seguridad (NC). Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina  |
| I10            | PRESIÓN            | Condición de seguridad (NC)<br>Detecta falta de energía de presión para realizar el trabajo |

Tabla 6.7.3.2.2.- Salidas Caso II - Bloques de Función.

| <b>Salida</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>                            |
|---------------|--------------------|---|
| Q1            | $a +$              | Actuación A +/ (Actuación A – desactivada Q1) |
| Q2            | $b +$              | Actuación B +                                 |
| Q3            | $b -$              | Actuación B –                                 |
| Q4            | Energía Fluidica   | Activa / Desactiva Energía fluidica           |

Tabla 6.7.3.2.3.- Memorias Caso II - Bloques de Función.

| <b>Memoria</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>   |
|----------------|--------------------|--|
| M1             | MI                 | Memoria auxiliar X   |
| M2             | C_REARME           | Condición de Rearme  |
| M3             | C_CICLO            | Modo Ciclo Continuo ( Condición que fija el número de ciclos a realizar) |
| M4             | C_PARO             | Condición de Paro  |

<sup>57</sup> NA = normalmente abierto<sup>58</sup> NC = normalmente cerrado



Al igual que el caso anterior, se empezará el desglose del programa de control en diferentes módulos y se contrastará con la solución estándar FBD.

Primeramente, la función de Paro:

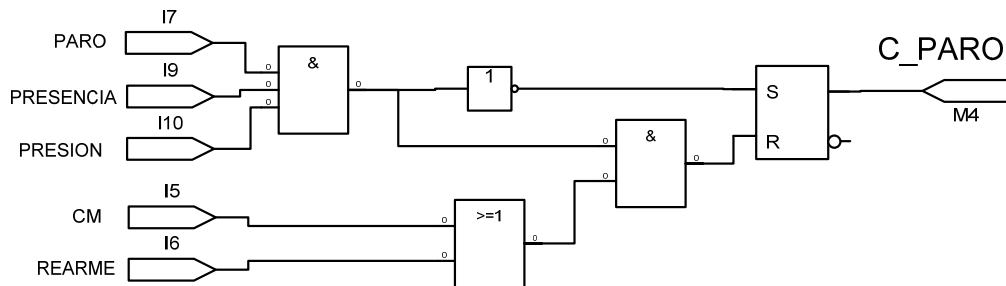


Figura 6.7.3.2.4.- FBD Paro - Caso II.

En este caso, el Paro o la presencia humana en la zona de trabajo o la falta de energía fluidica (mediante el sensor de presión) activan automáticamente la Condición de Paro. También, si la fuente de energía no esta activada o “cae” o si hay una “fuga importante de energía fluidica”, entonces, el sistema se pone en Condición de paro. Y aunque se restaure las condiciones de trabajo, será necesario que el Operador active de nuevo Marcha o Rearme para comenzar.

Al haber varias entradas de seguridad, se emplea un bloque “PARO 1 múltiple”

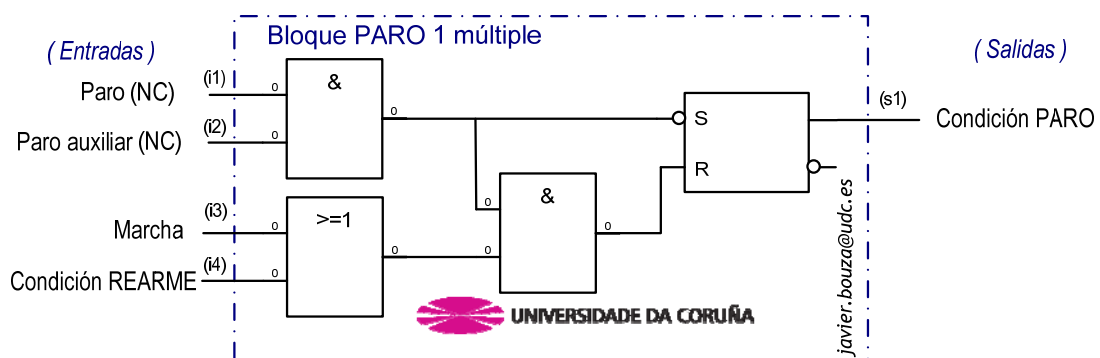


Figura 6.7.3.2.5.- Bloque Paro 1 múltiple - Caso II.

Y se reemplaza por:

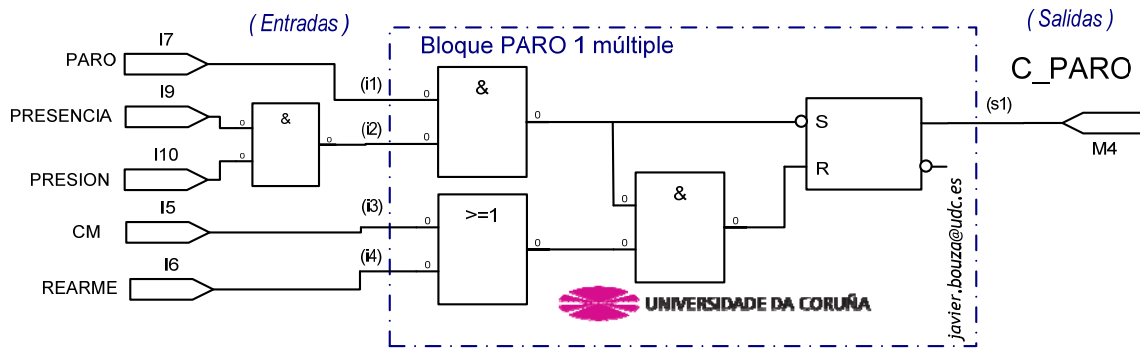


Figura 6.7.3.2.6.- Bloque definido de Paro - Caso II.

Lo siguiente, es la función de Rearme

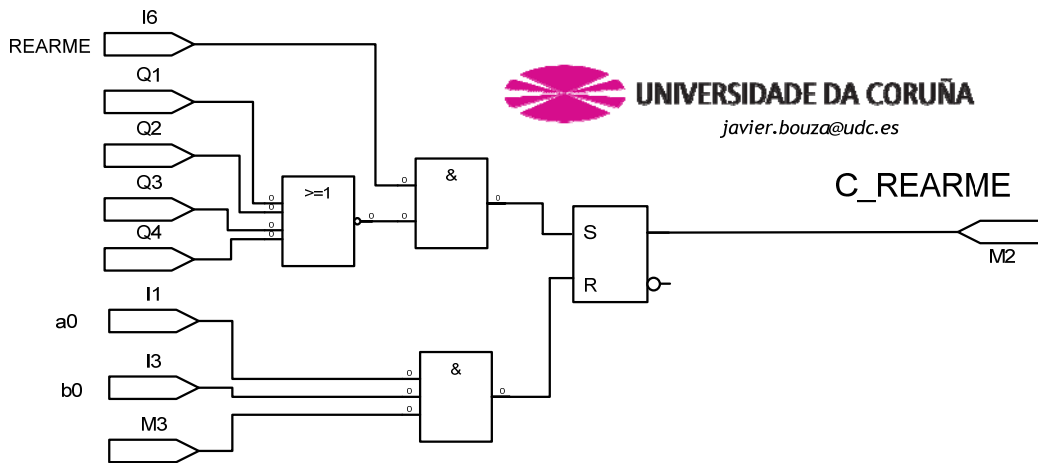


Figura 6.7.3.2.7.- FBD Rearme -Caso II.

Se emplea un bloque “REARME”

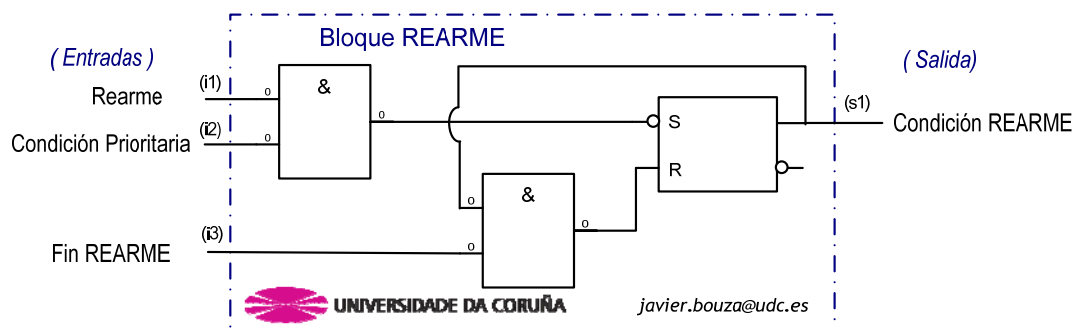


Figura 6.7.3.2.8.- Bloque Reame - Caso II.

Y queda:

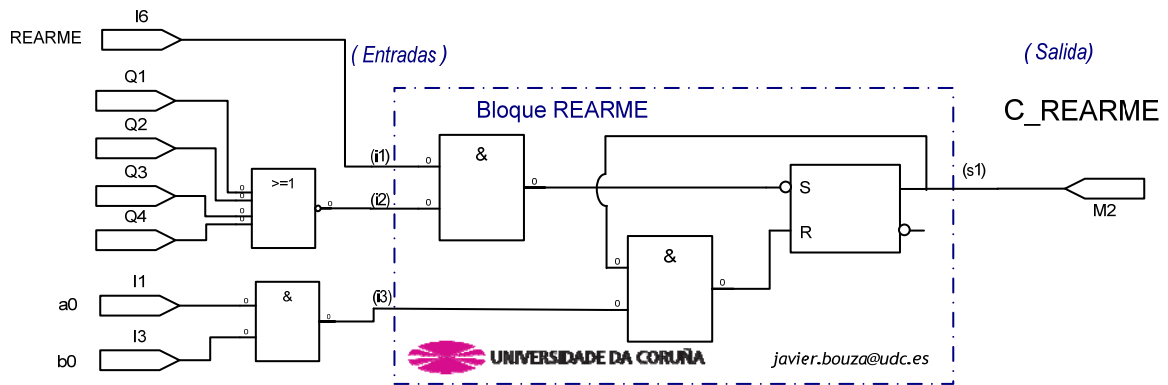


Figura 6.7.3.2.9.- Bloque definido de Rearme - Caso II.

En cuanto, a la definición de la memoria auxiliar no se emplea la solución de Bloques definidos, como en el caso I, por ser una estructura característica de cada secuencia.

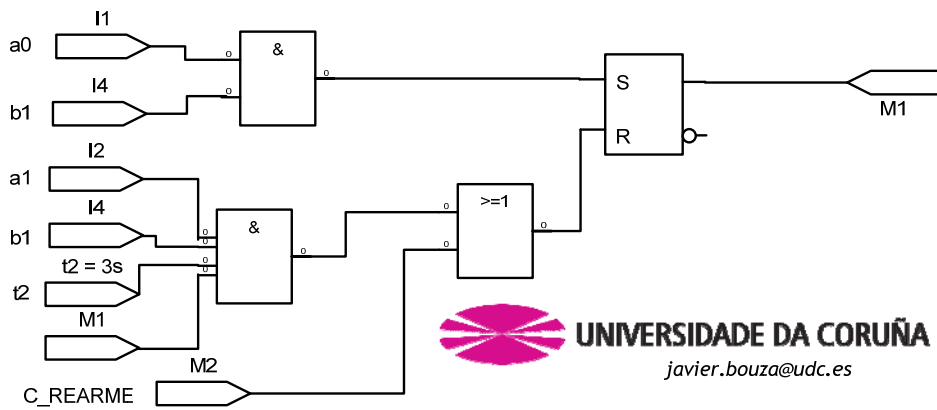


Figura 6.7.3.2.10.- FBD/Bloque memorias auxiliares - Caso II.

En la siguiente estructura se trata el modo de operación “Ciclo Continuo” que define el número de ciclos de la secuencia que se desea realizar. Para

implementar esta condición, se emplea un contador que mediante un impulso incrementa o decrementa un valor de contaje interno y un biestable RS. La parametrización del contador permite ajustar el valor inicial, el límite de conexión y el límite desconexión, así como el sentido de contaje (ascendente/descendente).

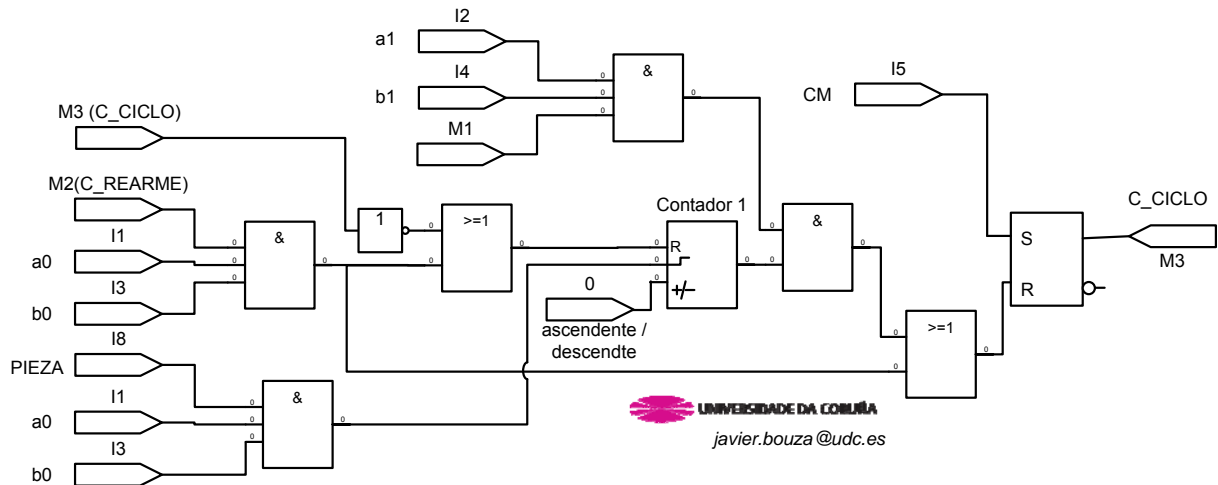


Figura 6.7.3.2.11.- FBD del modo Ciclo Continuo - Caso II.

De esta estructura se obtiene el siguiente bloque:

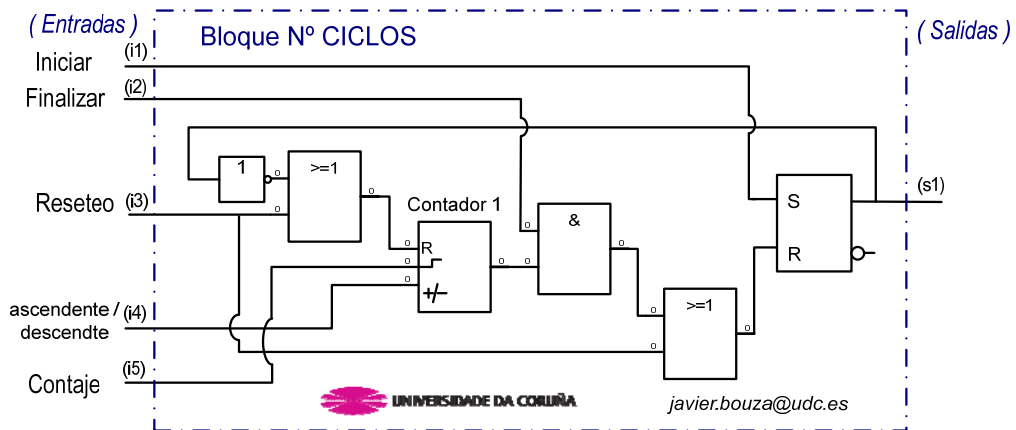


Figura 6.7.3.2.12.- Bloque N° Ciclos - caso II.

En este bloque denominado “Nº ciclos”: la entrada “Iniciar” activa el contador; y la entrada “Finalizar” desactiva el contador una vez alcanzado el valor de contaje; la entrada “ascendente/descendente” se define respectivamente por los valores 0 (por defecto) o 1; y en la entrada de “Contaje” se introduce la señal de computo (cuenta el flanco ascendente de la misma); y, además, se define un entrada de “Reseteo”. Así, para el caso II: la entrada Iniciar se establece con el pulsador de Marcha, la entrada Finalizar con la orden 6, el Reseteo con el final de la Condición de rearme, la entrada Ascendente/descendente no se emplea (toma por defecto el valor 0) y en la entrada de Contaje se introduce la condición de iteración para repetir la secuencia (conjunción de la condición inicial y la presencia de pieza).

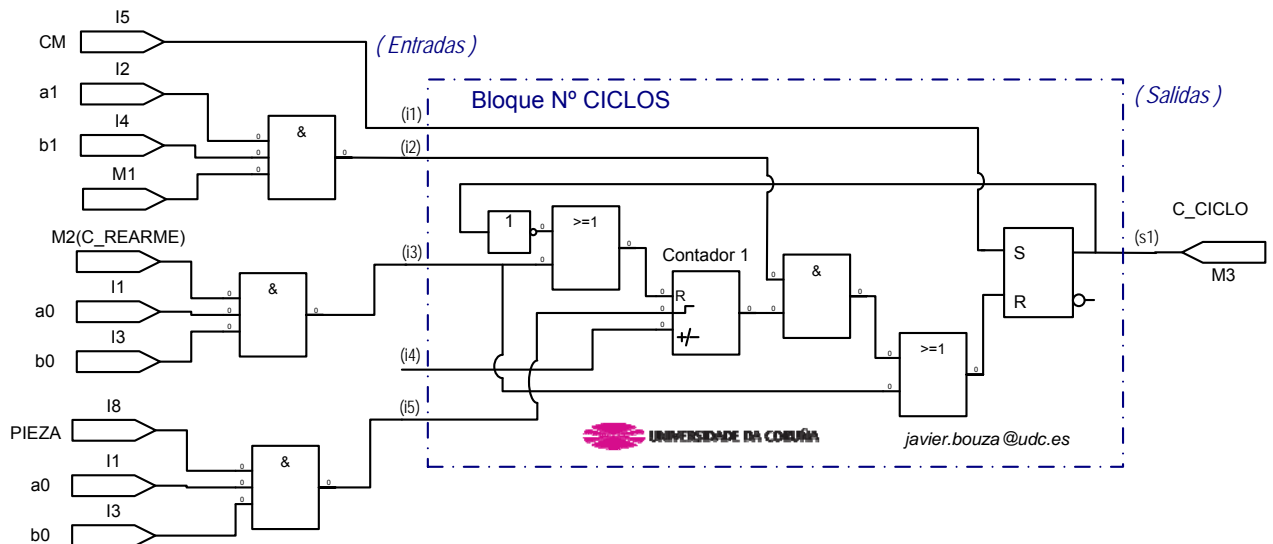


Figura 6.7.3.2.13.-Bloque definido de modo Ciclo Continuo - Caso II.

A continuación, se expone el FBD del control de los distribuidores del caso II. Indicar, que para este caso, el Paro inhibe todas las salidas lo que provoca que todas sus actuaciones se anulen. Esta inhibición, a diferencia del caso anterior, incluye a la válvula que activa/desactiva la energía fluidica (anteriormente por criterio de seguridad se realizaba su desconexión directa). La argumentación de esto, se encuentra en el modo Ciclo continuo y el poder realizar un Paro y, a continuación, disponer de la posibilidad de terminar los ciclos pendientes.

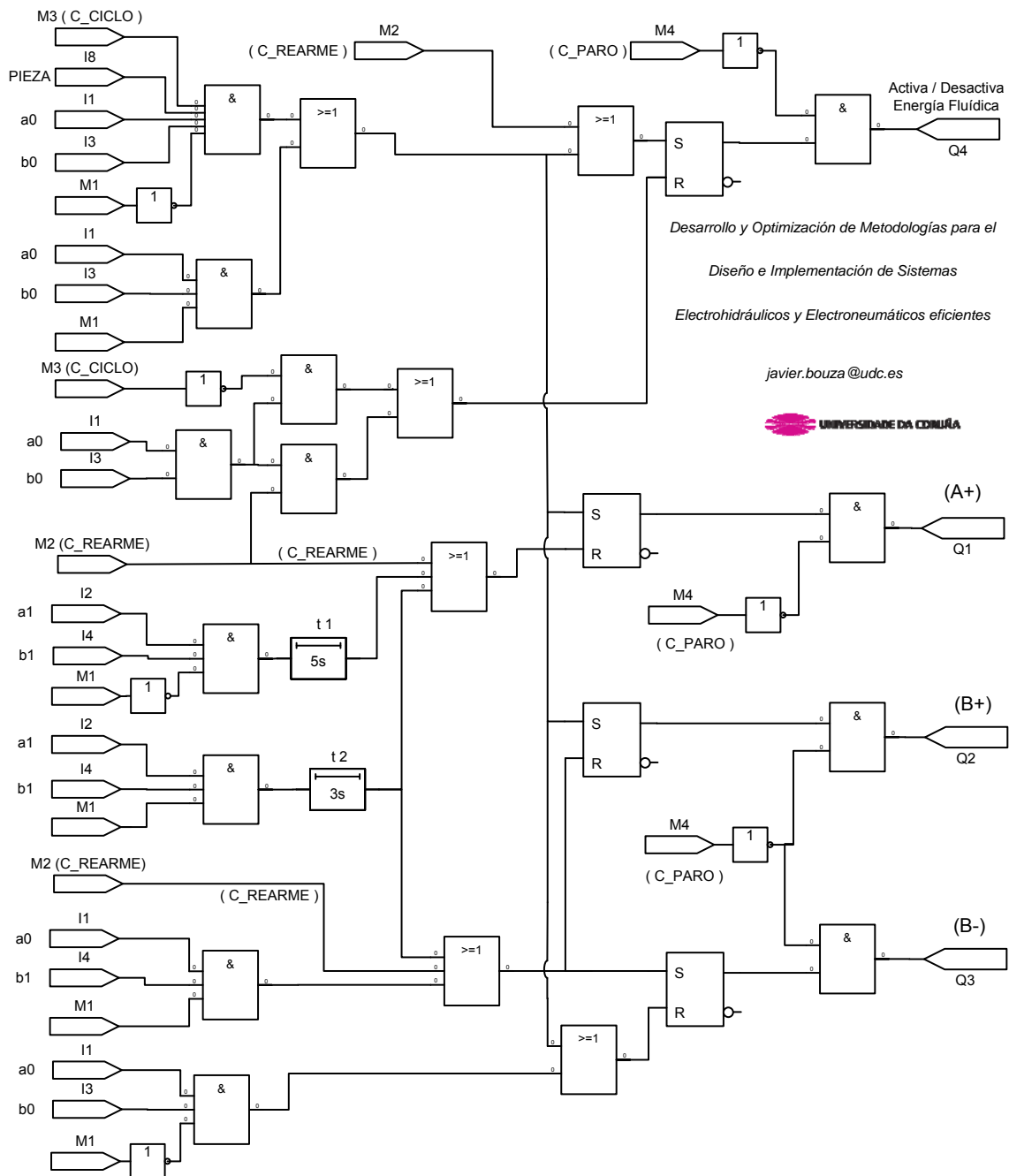


Figura 6.7.3.2.14.- FBD Control distribuidores - Caso II.

En este caso se usarán los siguientes bloques de función definidos: un bloque “MONOESTABLE 1” para la válvula que activa/desactiva la energía

flúidica, un bloque “MONOESTABLE 2 múltiple” para el cilindro A, un bloque “BIESTABLE 2 múltiple” para el cilindro B

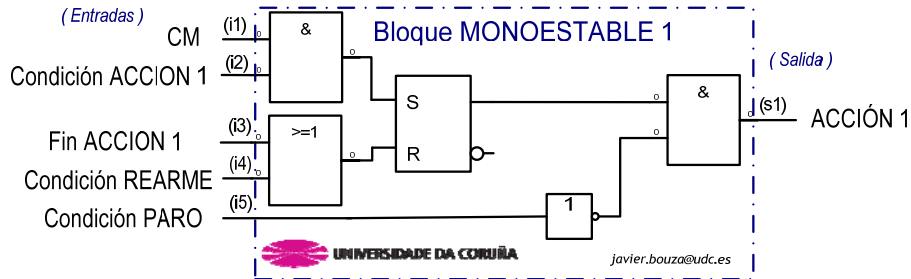


Figura 6.7.3.2.15- Bloque Monoestable 1 - caso II.

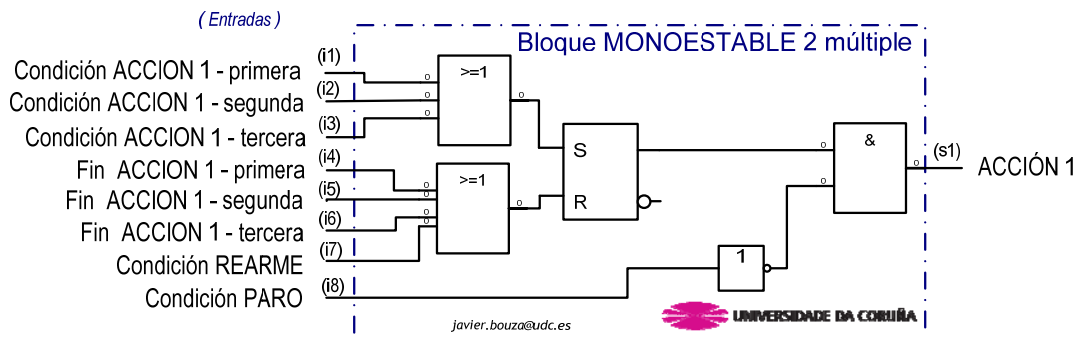


Figura 6.7.3.2.16.- Bloque Monoestable 2 múltiple - caso II.

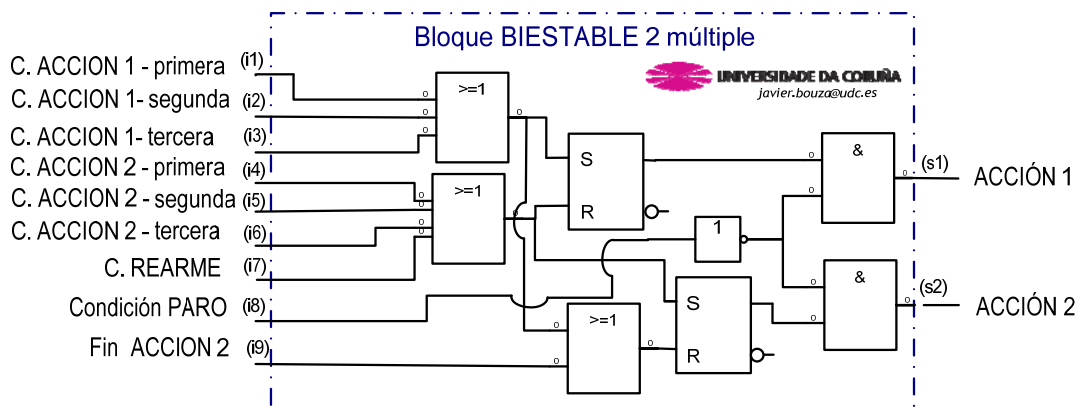


Figura 6.7.3.2.17.- Bloque Biestable 2 múltiple - caso II.

Indicar que en los Bloques “múltiple” y para esta secuencia: en la tercera y sexta entrada se repite la segunda y cuarta, respectivamente, porque las ACCIONES se repiten dos veces. De esta forma, se inutiliza la tercera y sexta entrada. A continuación, se expone la solución con estos bloques definidos:

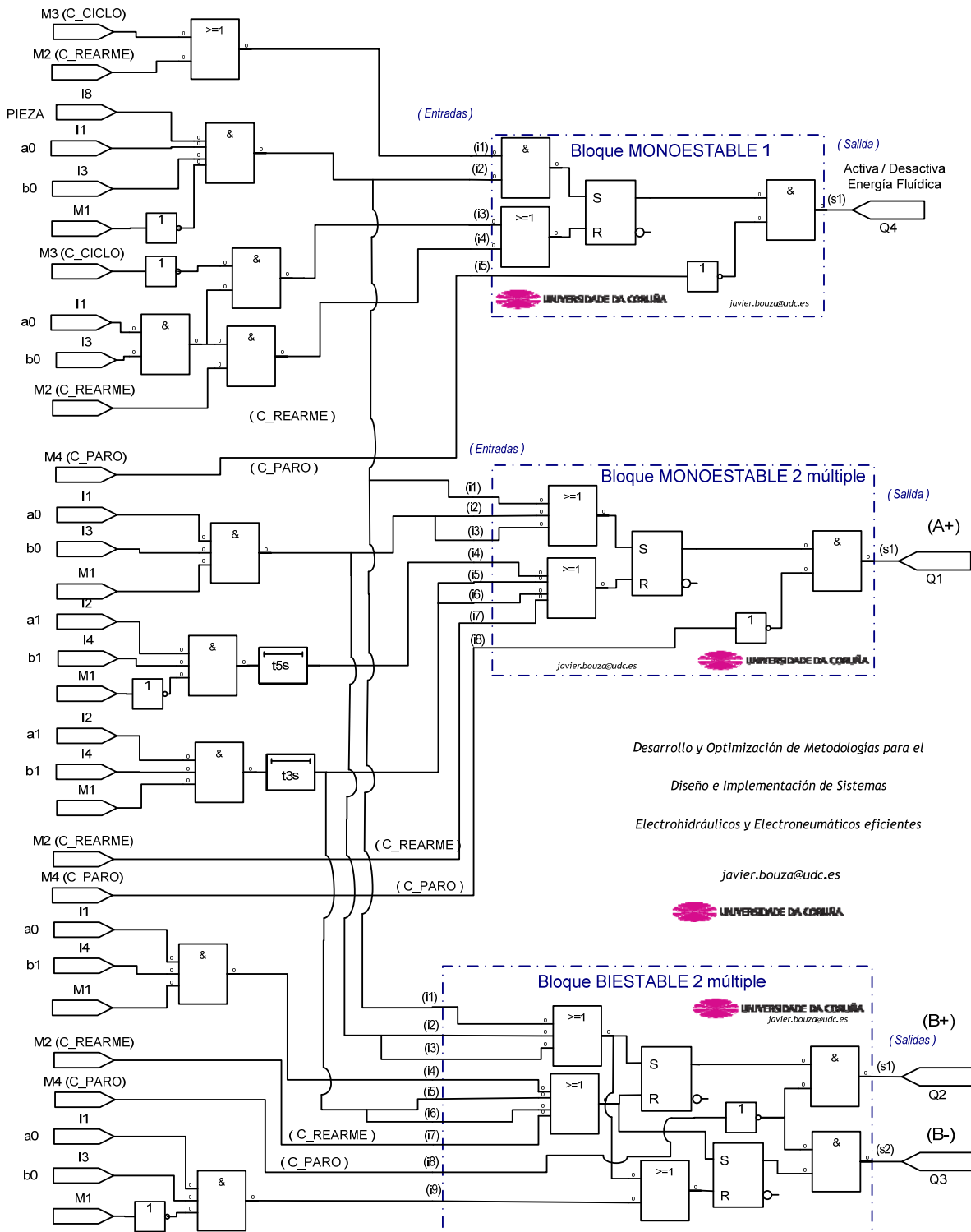


Figura 6.7.3.2.18.- Bloque definido de distribuidores - Caso II.



6.7.3.3 Caso III

De la secuencia estudiada en el Método combinacional II y caso III, se va poner en práctica el diseño mediante Bloques de Función definidos. En este caso, como se estudio anteriormente, se dispuso de dos memorias con el objetivo de evitar la semejanza que no evita una única memoria (la orden 3 con el estado de reposo). Retomando su diagrama simplificado de mando:

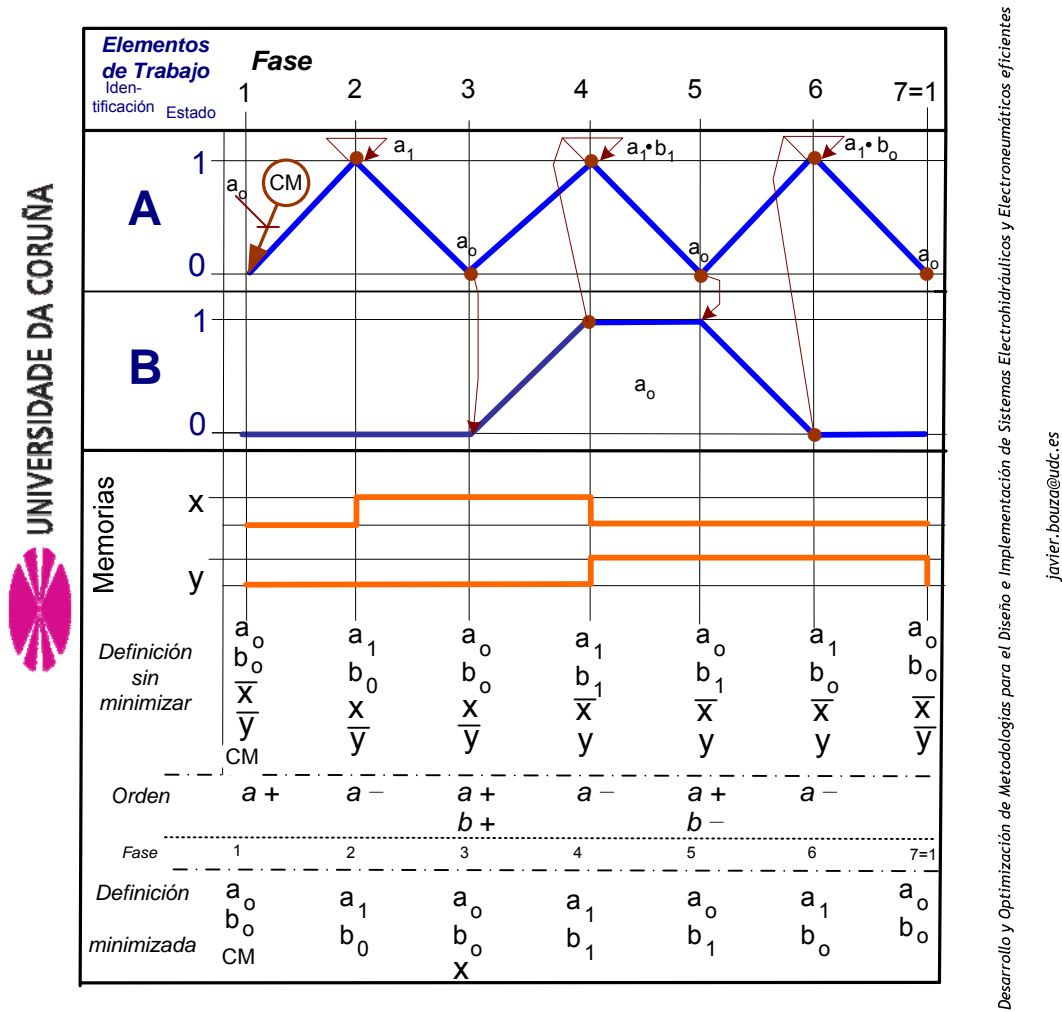


Figura 6.7.3.3.1.- Diagrama simplificado de la sec. A+ A- A+B+ A- A+ B- A-

Las variables del algoritmo de control son:

Tabla 6.7.3.3.1.- Entradas Caso III - Bloques de Función.

| <b>Entrada</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>  |
|----------------|--------------------|---|
| I1             | CM                 | Pulsador de Marcha (NA) <sup>59</sup>   |
| I2             | $a_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I3             | $a_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I4             | $b_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I5             | $b_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I6             | PARO               | Interruptor de Paro (NC) <sup>60</sup>  |
| I7             | REARME             | Pulsador de Rearme (NA)   |
| I8             | PRESENCIA          | Condición de seguridad (NC). Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina       |
| I9             | PRESIÓN            | Condición de seguridad (NC)<br>Detecta falta de energía de presión para realizar el trabajo |

Tabla 6.7.3.3.2.- Salidas Caso III - Bloques de Función.

| <b>Salida</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b> |
|---------------|--------------------|--------------------|
| Q1            | $a -$              | Actuación A -      |
| Q2            | $a +$              | Actuación A +      |
| Q3            | $b -$              | Actuación B -      |
| Q4            | $b +$              | Actuación B +      |

Tabla 6.7.3.3.3.- Memorias Caso III - Bloques de Función.

| <b>Memoria</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>  |
|----------------|--------------------|---------------------|
| M1             | M1                 | Memoria auxiliar X  |
| M2             | M2                 | Memoria auxiliar Y  |
| M3             | C_PARO             | Condición de Paro   |
| M4             | C_REARME           | Condición de Rearme |

<sup>59</sup> NA = normalmente abierto<sup>60</sup> NC = normalmente cerrado

En este tercer y último caso, de la aplicación de los Bloques de función definidos, se plantea dos posibilidades para esta secuencia en su diseño del circuito fluídico de potencia.

1. Paro con mantenimiento de energía fluídica y de las memorias de control.
2. Paro con mantenimiento de energía fluídica y de las memorias de control con inercias elevadas.

En ambos casos, el programa de control será similar salvo en la introducción, para el segundo, de un temporizador con retardo a la conexión para cada accionamiento del distribuidor. Esto le permitiría ajustar su tiempo de conmutación, con respecto: a su propia orden de mando, al accionamiento antagónico y a los accionamientos de los otros distribuidores.

A continuación, se muestran los circuitos electroneumáticos para la segunda posibilidad (la más restrictiva).

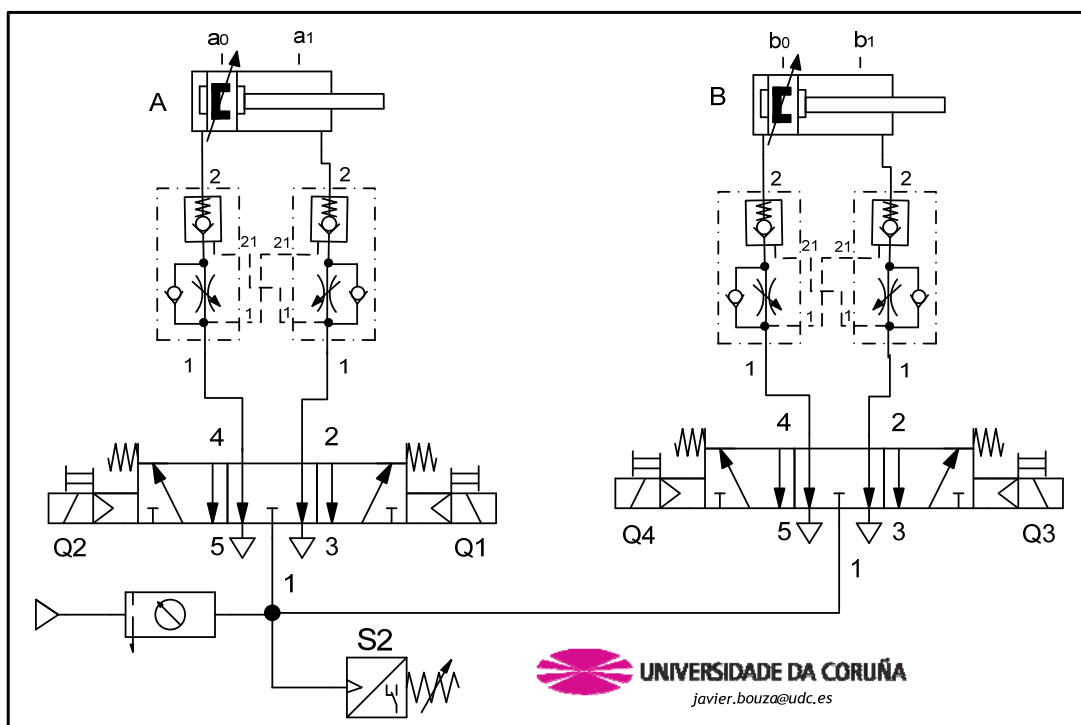


Figura 6.7.3.3.2.- Circuito funcional del sistema electroneumático opción 1 - caso III Bloques de Función.

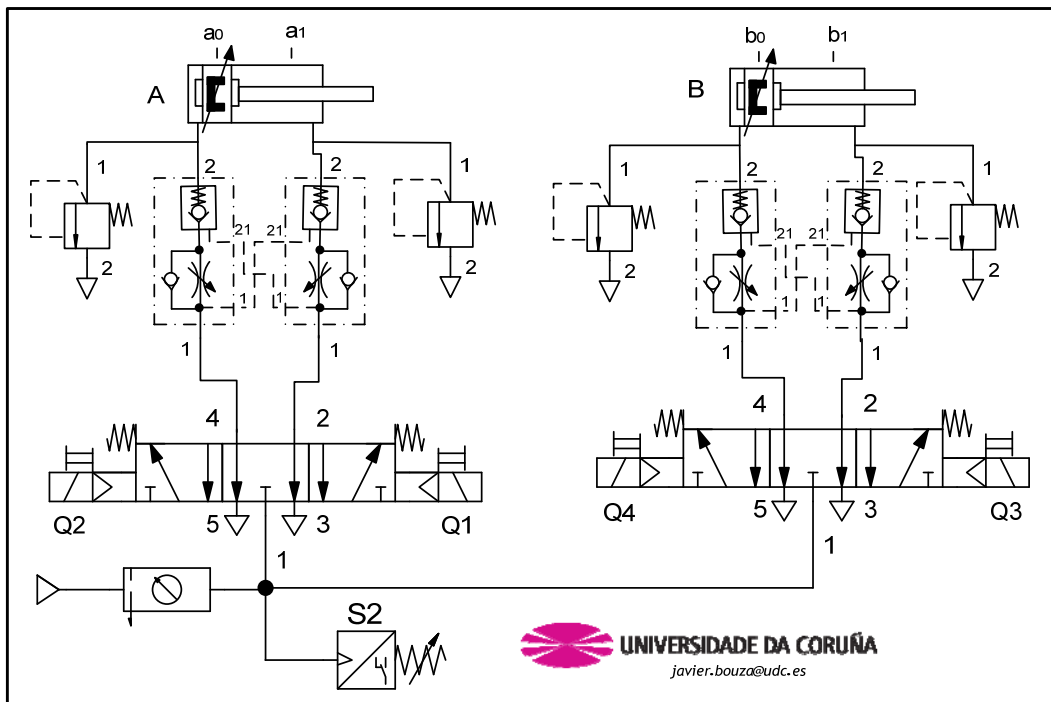


Figura 6.7.3.3.3.- Circuito funcional del sistema electro neumático opción 2 - caso III Bloques de Función.

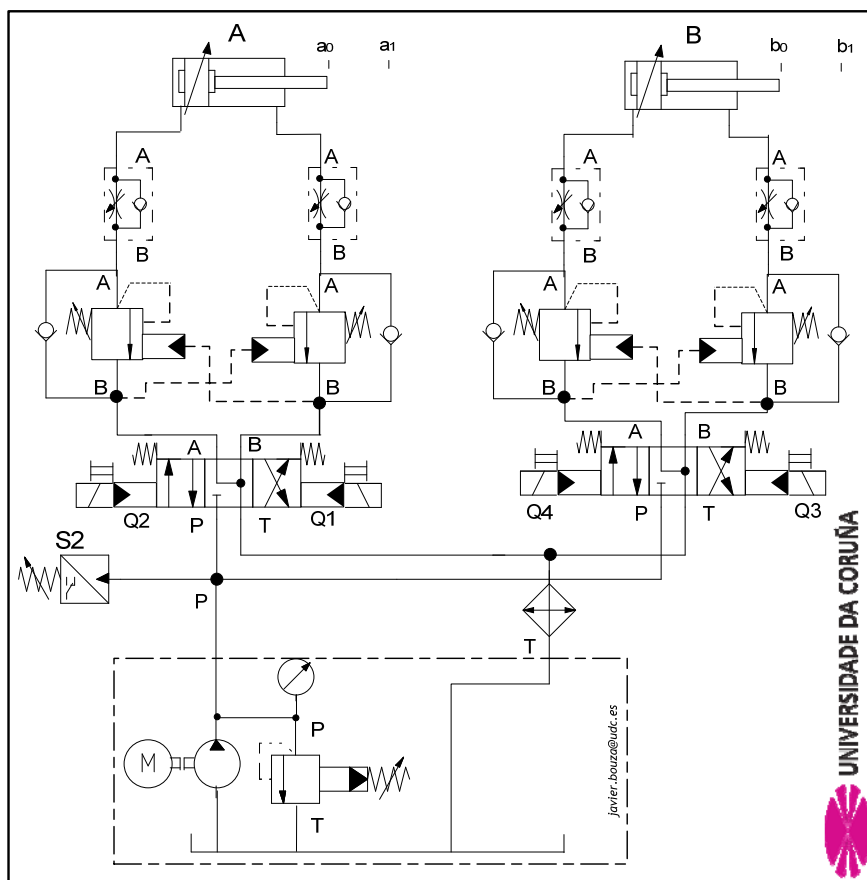


Figura 6.7.3.3.4.- Circuito funcional del sistema electro hidráulico - caso III Bloques de Función.

Tanto en el caso del circuito de Paro con mantenimiento de energía fluidica y de las memorias de control “con inercias elevadas” como sin “inercias elevadas”: el subsistema operativo es el encargado de paralizar los actuadores del sistema bajo el control del subsistema de mando. En el caso de inercias elevadas y como se muestra en los circuitos funcionales, será el propio diseño del subsistema de potencia el que garantice unas condiciones de dinámicas y de seguridad adecuadas.

A continuación, se desglosa el programa de control en diferentes módulos y se contrasta la solución estándar mediante FBD con la propuesta de Bloques de Función definidos.

Primeramente la función de Paro

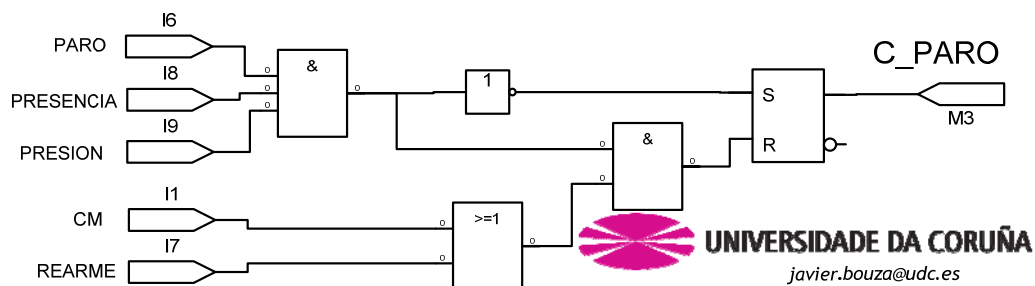


Figura 6.7.3.3.5.- FBD Paro - Caso III.

Se emplea un bloque “PARO 1 múltiple”

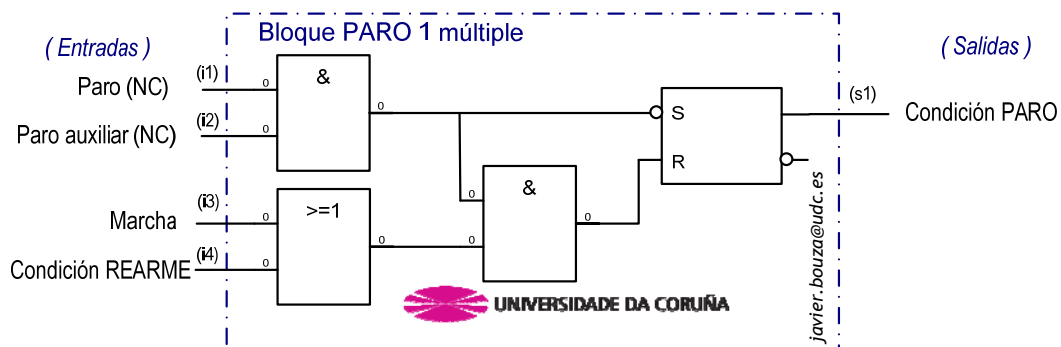


Figura 6.7.3.3.6.- Bloque Paro 1 múltiple - Caso III.

Y se sustituye:

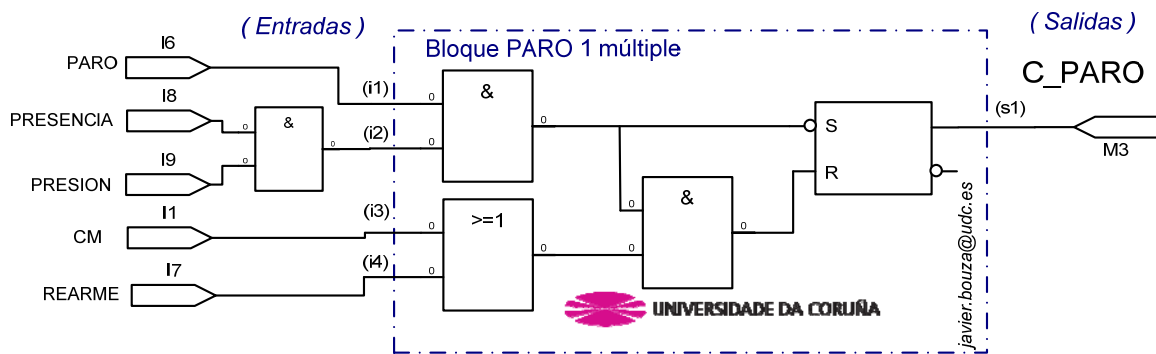


Figura 6.7.3.3.7.- Bloque definido de Paro - Caso III.

Ahora, la función de Rearme

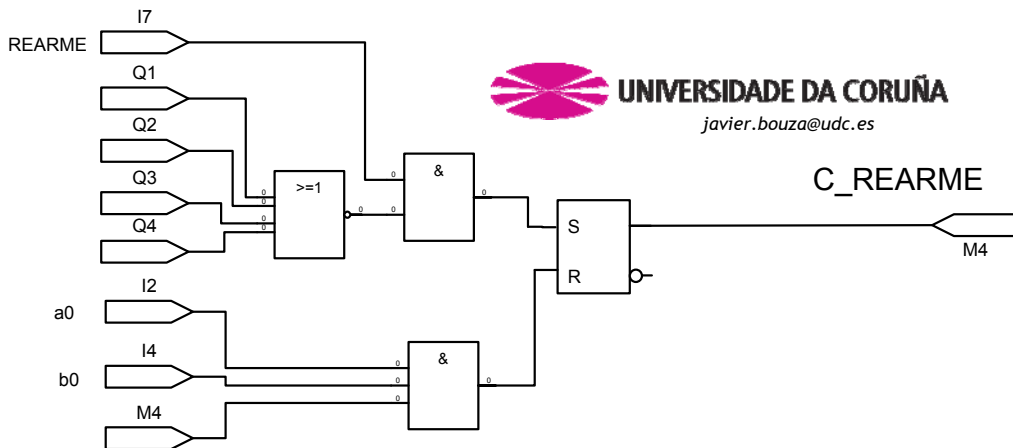


Figura 6.7.3.3.8.- FBD Rearme -Caso III.

Se emplea un bloque “REARME”

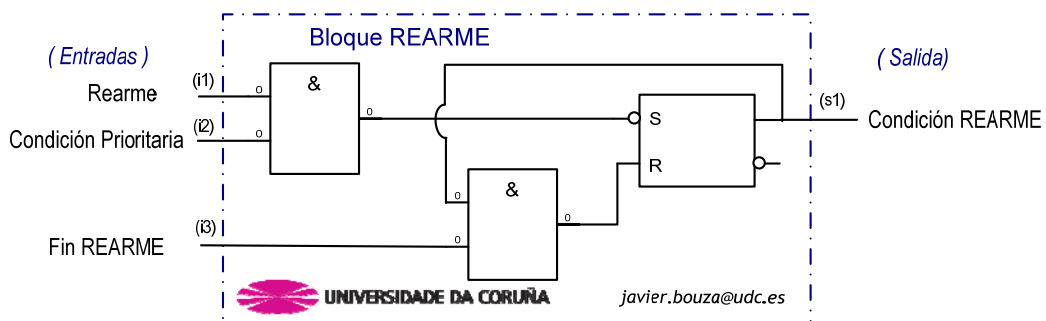


Figura 6.7.3.3.9.- Bloque Reame - Caso III.

Y queda:

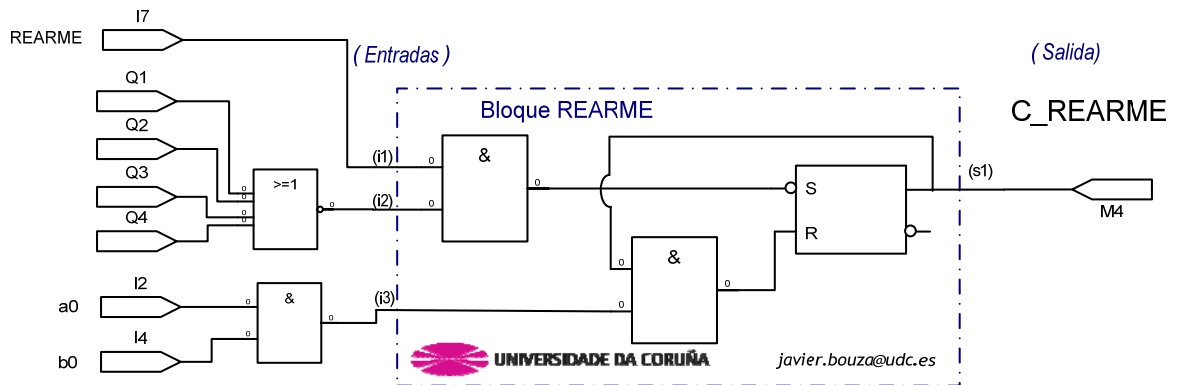


Figura 6.7.3.3.10.- Bloque definido de Rearme - Caso III.

En cuanto a la definición de las memorias auxiliares no se emplearan la solución de bloque definidos, por ser una estructura característica de cada secuencia.

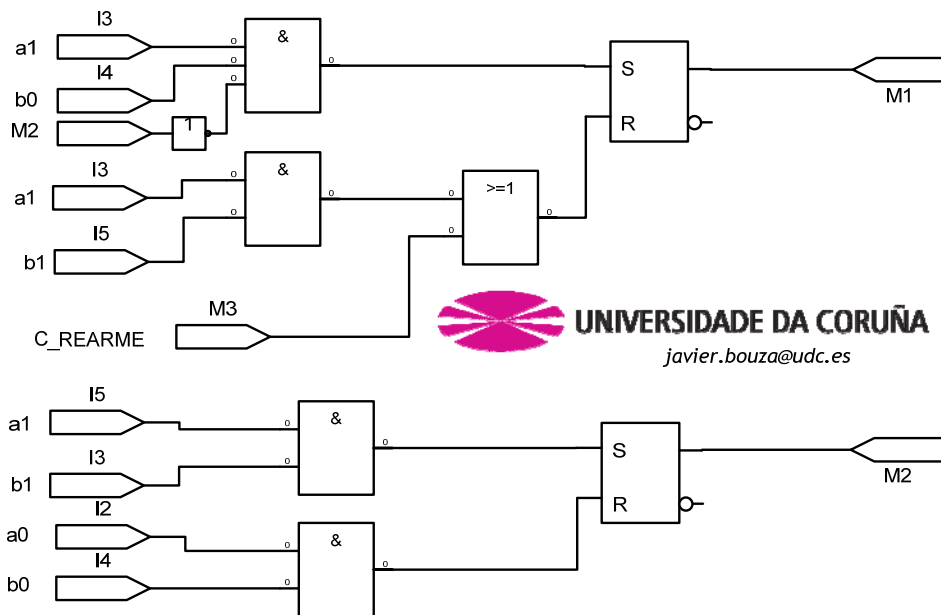


Figura 6.7.3.3.11.- FBD/Bloque memorias auxiliares Caso III.

Para el distribuidor A y considerando el caso de “inercias elevadas” se tiene la siguiente definición:

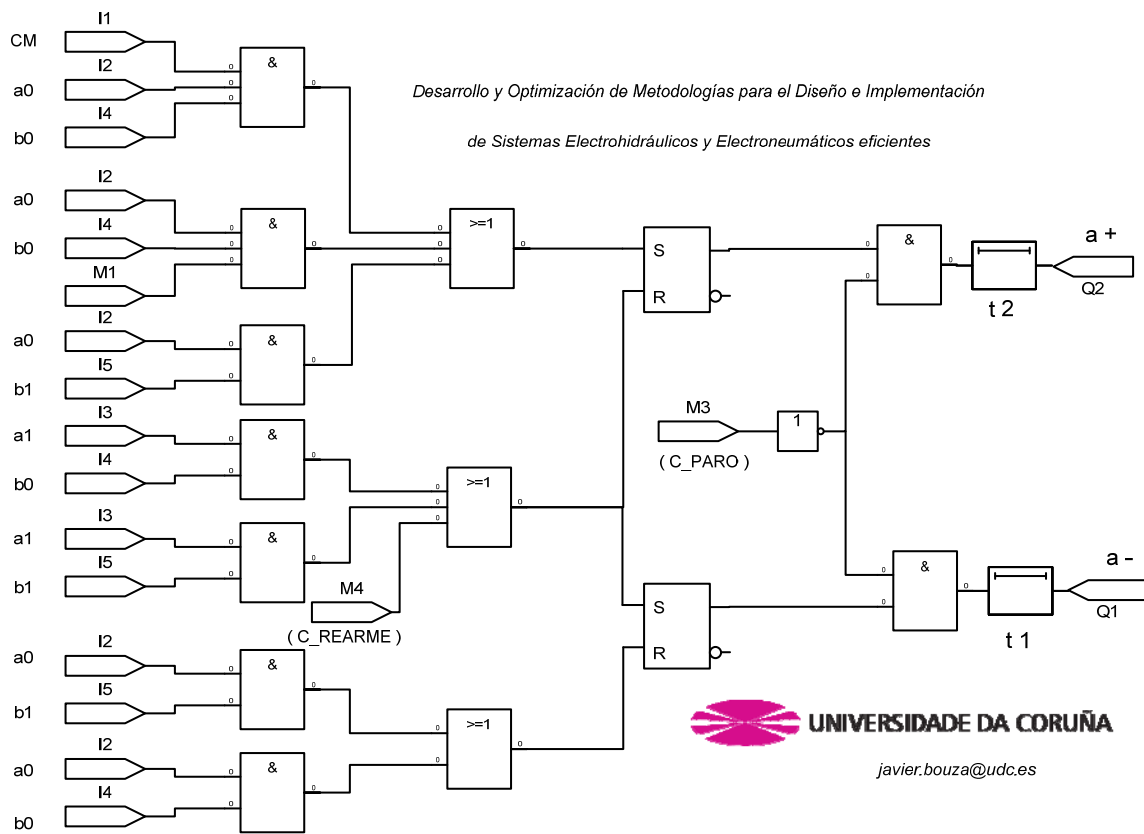


Figura 6.7.3.3.12.- FBD distribuidora A- Caso III.

Y se emplea un Bloque “BIESTABLE 1 múltiple”

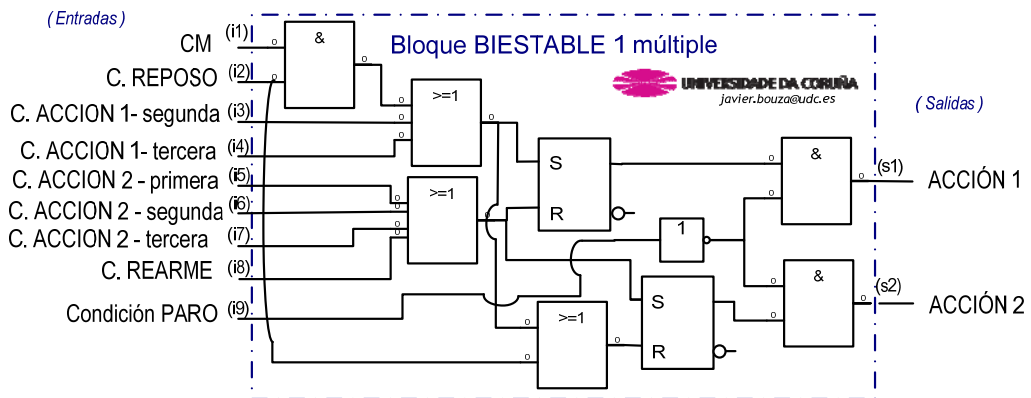


Figura 6.7.3.3.13.- Bloque Biestable múltiple 1- Caso III.

Y queda:



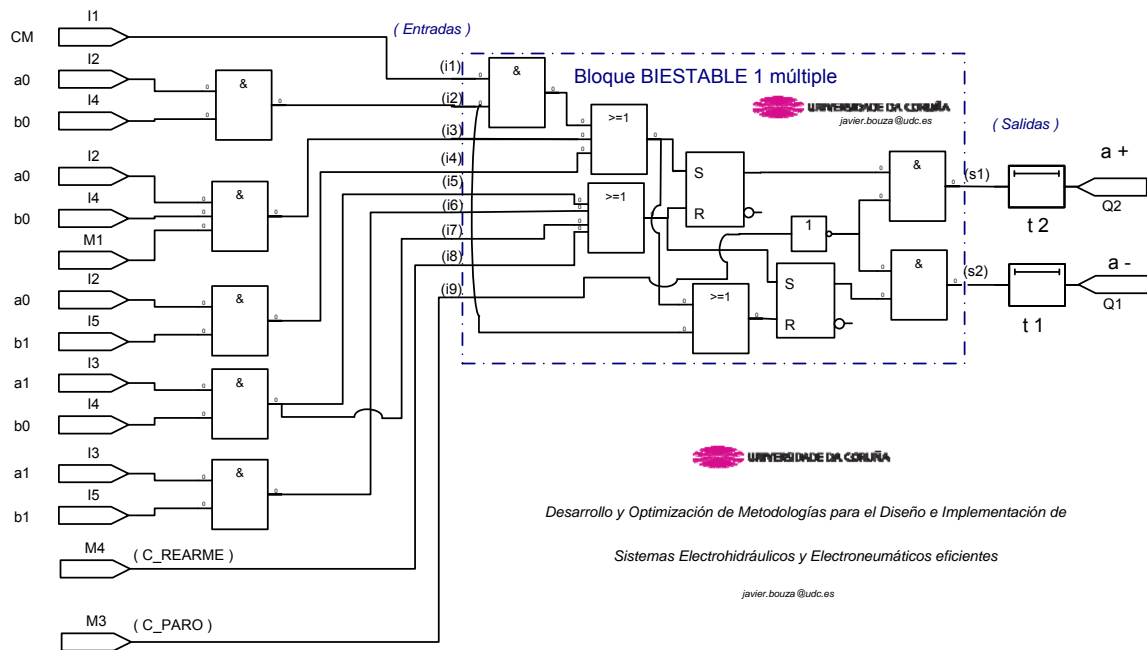


Figura 6.7.3.3.14.- Bloque definido distribuidor A - Caso III.

Y para el distribuidor B, caben dos posibilidades. La primera, manteniendo la presión en la posición estirada.

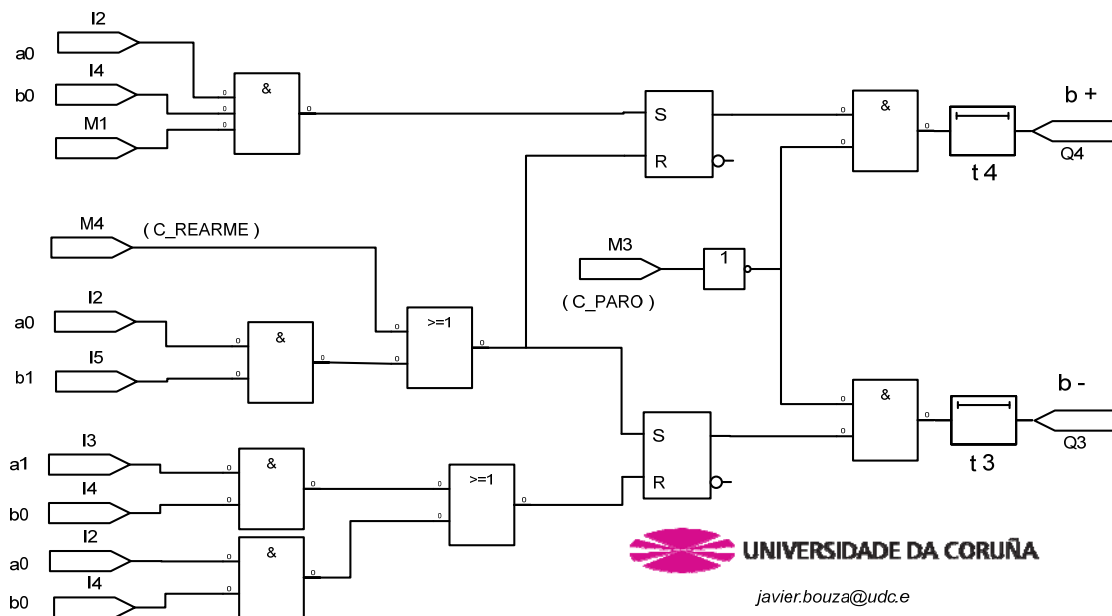


Figura 6.7.3.3.15.- FBD distribuidora B opción 1 - Caso III.

Y se emplea un Bloque “BIESTABLE 2”

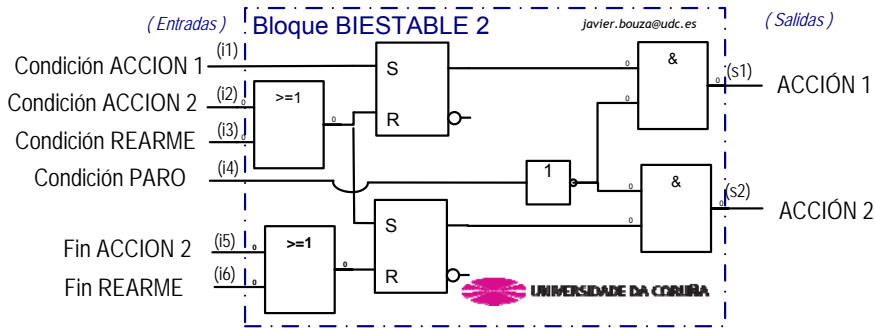


Figura 6.7.3.3.16.- Bloque Biestable 2 - Caso III.

Y queda:

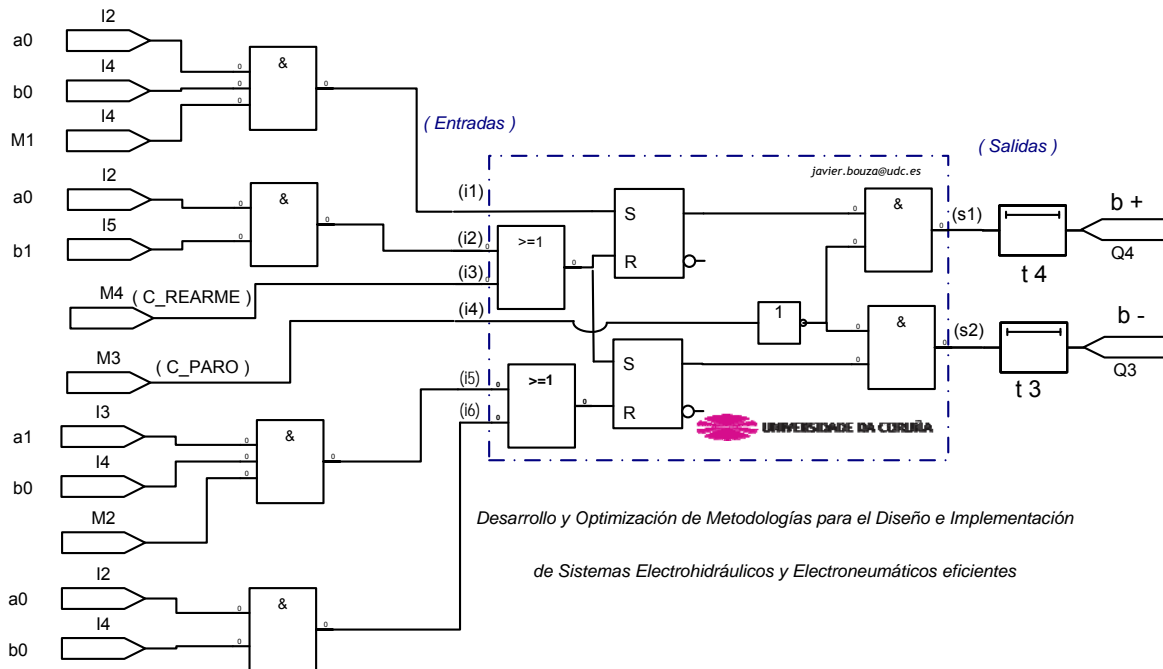


Figura 6.7.3.3.17.- Bloque definido distribuidor B opción 1 - Caso III.

Y la segunda posibilidad, para el distribuidor B, es que sea la posición central la encargada de mantener la posición estirada.

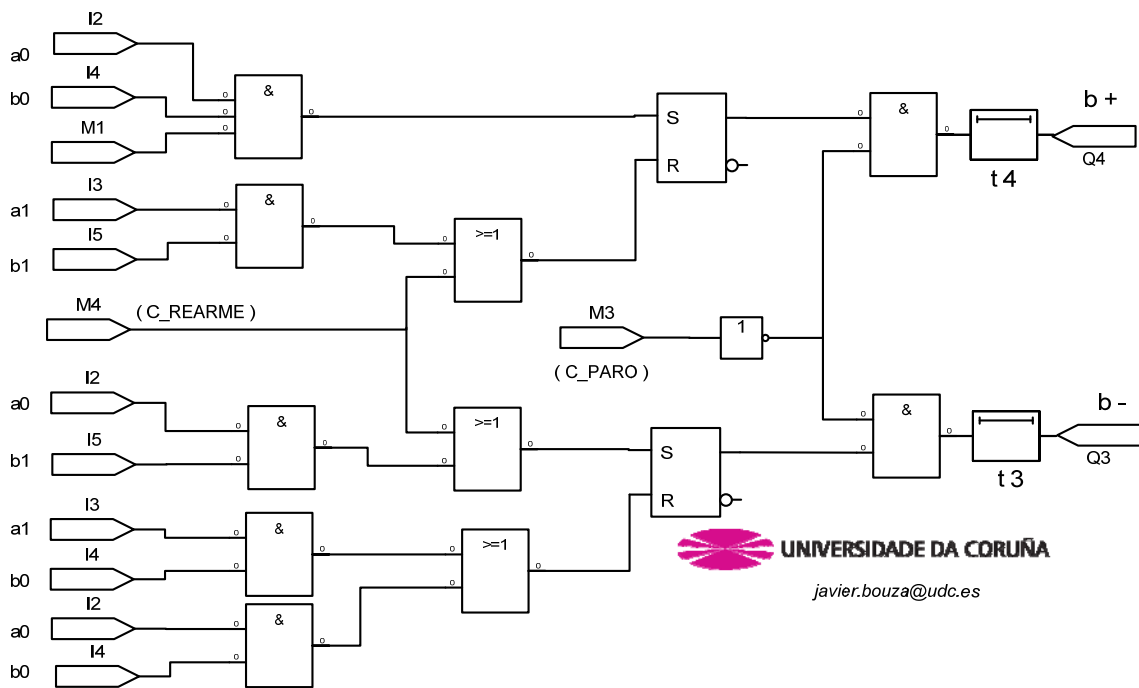


Figura 6.7.3.3.18.- FBD distribuidora B opción 2- Caso III.

Y se emplea un Bloque “BIESTABLE 3”

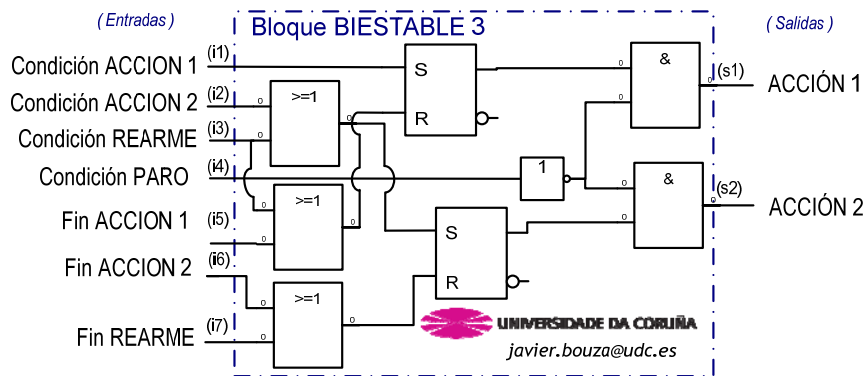


Figura 6.7.3.3.19.- Bloque Biestable 3 - Caso III.

Y queda:

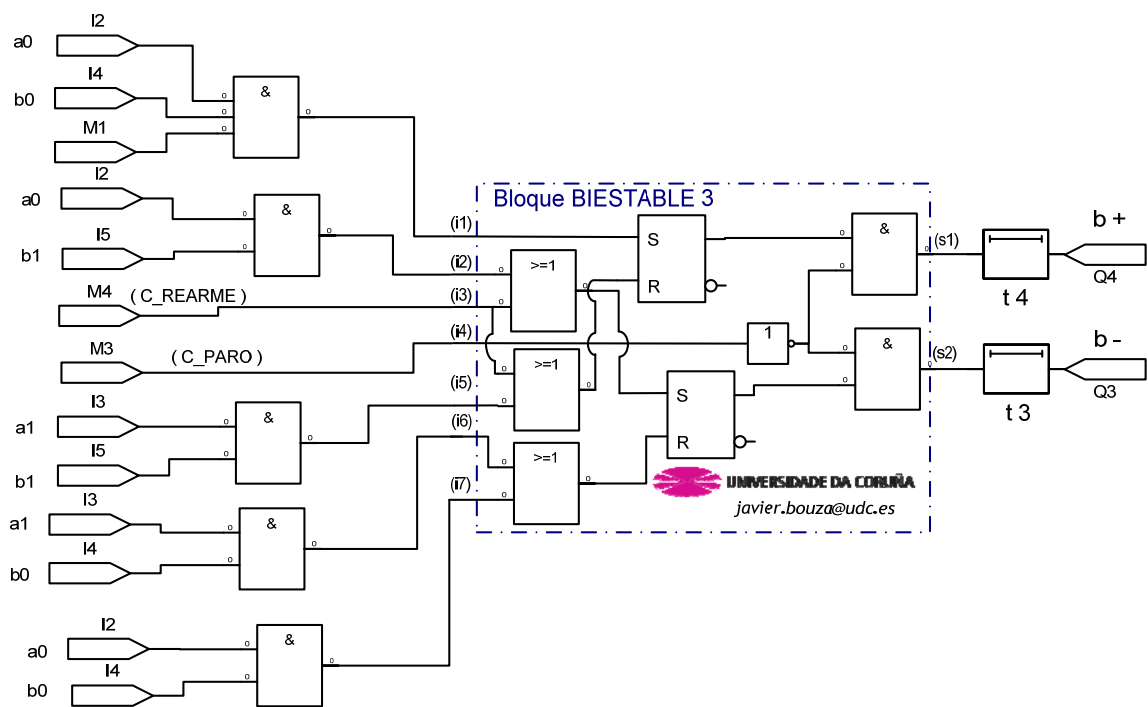


Figura 6.7.3.3.20.- Bloque definido distribuidor B opción 2 - Caso III.

## 7. Búsqueda del conocimiento mediante Técnicas Secuenciales



## 7 Búsqueda de conocimiento mediante Técnicas Secuenciales

### 7.1 Generalidades

La forma más efectiva de asegurar que las instalaciones electrohidráulicas y electroneumáticas programables sean seguras es prever y eliminar los riesgos en la fase diseño. Y en ese sentido, las Metodologías sistemáticas combinacionales estudiadas, anteriormente, buscan esta finalidad. Estos métodos permiten definir unas órdenes de mando precisas, diferenciadas y que evitan las interferencias entre los accionamientos contrapuestos en los distribuidores de potencia. Pero, cuando la complejidad del sistema y el número de variables de trabajo aumentan, entonces la formulación de la solución, la rigurosidad y el tiempo empleado aumentan. A continuación, se estudia las Técnicas secuenciales que, también, permiten construir sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos de forma sistemática y rápida, protegidos contra conmutaciones erróneas, independientemente de su complejidad. En estas soluciones secuenciales: *las salidas no sólo dependen de sus entradas sino, también, de sus estados anteriores*. Esta “información” de sus estados anteriores preservará, aun más, la seguridad que debe disponer el sistema en todo momento. Además, garantiza que solo sea una orden u órdenes concomitantes (pero nunca antagónicas) la que actúa en todo momento, eliminando cualquier problema de señales permanentes y de semejanza de órdenes.

A continuación se estudiarán dos posibilidades:

- i. Método secuencial mínimo
- ii. Método secuencial máximo

Ambas soluciones, se modelizan sobre la secuencia de los tres actuadores que practican un ciclo completo cada uno en una sucesión ordenada. Indicar que la conformación de ambas soluciones secuenciales es una consecuencia de las Técnicas Combinacionales estudiadas en el capítulo anterior.

## 7.2 Método Secuencial mínimo

### 7.2.1 Introducción

La solución secuencial mínima es una consecuencia directa de los métodos combinacionales anteriores. Y *consiste en dividir la secuencia en grupos de salida de señal, de modo que cada grupo abarque el máximo de órdenes de mando consecutivos y no antagónicas. A cada grupo se le asignará una única memoria auxiliar tipo biestable RS.* De forma que cuando un grupo está operativo, porque su memoria auxiliar está activada, el resto de los grupos están inhabilitados. Este criterio, lógicamente, *garantiza que no se producirá ni simultaneidad de señales ni semejanza de órdenes, al no existir órdenes contrarias en el grupo y al disponer cada grupo de su memoria auxiliar identificativa.*

Al igual que en las metodologías combinacionales, se estudian diferentes posibilidades y se opta, en esta Tesis, por dos de ellas para la resolución del algoritmo de funcionamiento:

1. la solución que se desarrolla con las entradas que confirman la ejecución de la fase.
2. y, la solución que resuelve mediante las entradas que están presentes al iniciarse la fase.

Como se demostró, en las metodologías combinacionales, estas soluciones son las que permiten alcanzar una optimización mayor.

### 7.2.2 Solución con las entradas que confirman la fase

A continuación, se estudia la resolución del algoritmo de funcionamiento de la secuencia de los tres actuadores que practican un ciclo completo cada uno en una sucesión ordenada. En este primer caso, se consideran las entradas del Subsistema Operativo que confirman cada fase y la “CM”

Al igual que los métodos expuestos en esta Tesis, en primer lugar, se inicia con el diagrama desplazamiento-fase y el diagrama de mando. Luego, se



divide la secuencia en el menor número de grupos de salida de forma que en las distintas agrupaciones no existan órdenes de mando opuestas. Para delimitar dichos grupos se usan memorias auxiliares.

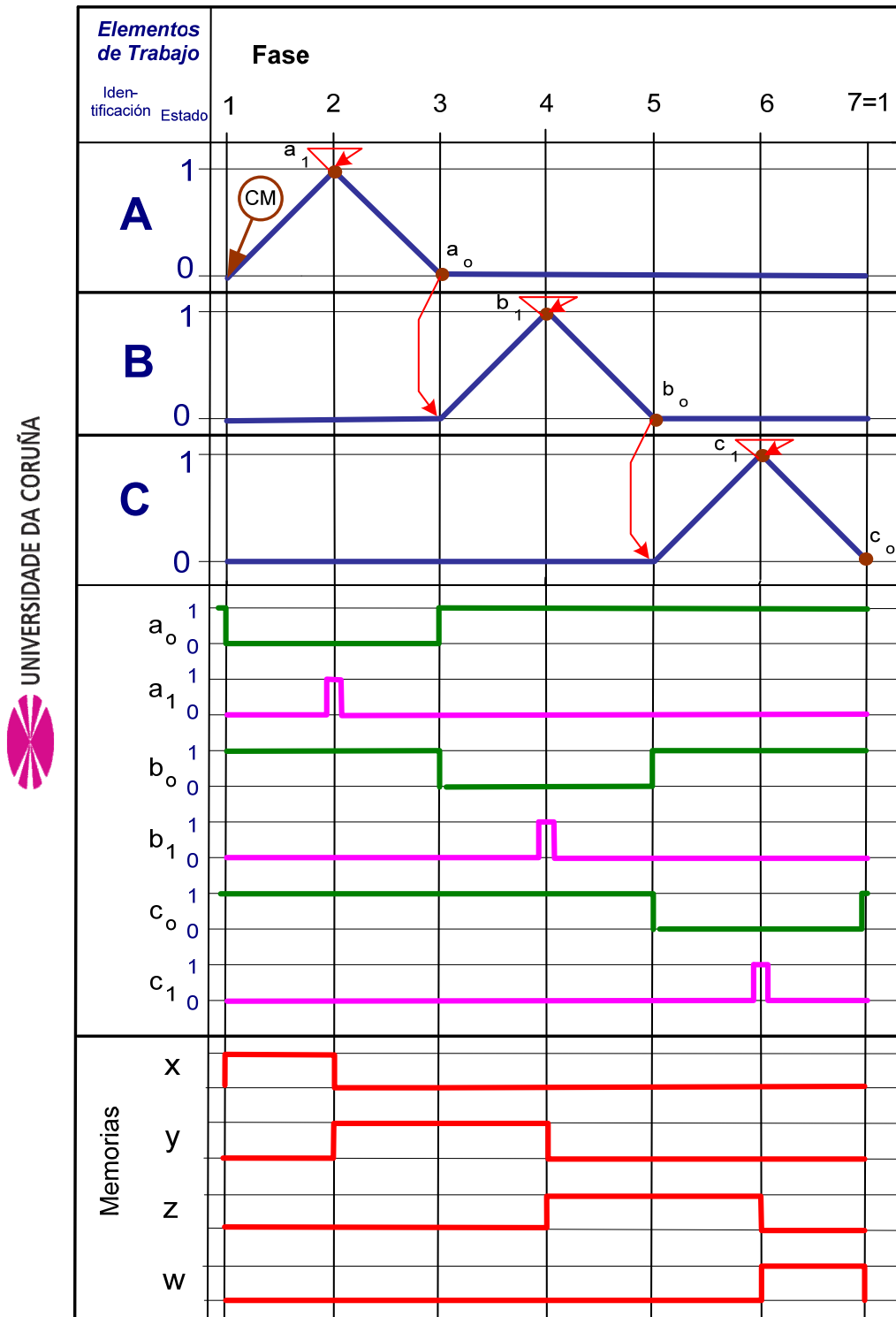


Figura 7.2.1.1.- Diagrama espacio-fase y de mando sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución Secuencial mínima.

En el caso de la secuencia de los tres cilindros, las combinaciones de los sensores de posición de las fases primera, tercera y quinta deben disponerse en grupos distintos y, por tanto, se emplean cuatro memorias auxiliares (“x”, “y”, “z” y “w”). Como se observa, dicha división se produce en donde la orden de avance sigue a una orden de retroceso para los actuadores A, B y C. De esta forma, se evitan las señales permanentes puesto que cada grupo sólo cubrirá acciones no antagónicas y sólo podrá haber un grupo activo al mismo tiempo. Con objeto de incrementar la seguridad inherente<sup>61</sup> del sistema, los grupos formados por la fase primera y sexta no se combinan y, de esta forma, se garantiza que sólo se pueda iniciar un nuevo ciclo cuando la secuencia finalice correctamente. Con ello, se *consolida la puesta en marcha, ya que sólo es posible cuando:*

- i) exista una orden de condición de marcha “CM”.*
- ii) la cadena secuencial ha evolucionado hasta la última fase y, como consecuencia, al finalizar el ciclo todos los actuadores quedarán situados en condiciones iniciales.*
- iii) y, lógicamente, la condición de parada o de seguridad no están activadas (estas, posteriormente, se implementará mediante las condiciones operativas del programa de control).*

Otra forma de crear los grupos es realizar la representación en texto simplificada de la secuencia. Y dividirla de modo que se agrupen aquellos movimientos de los actuadores que no repiten letra, con la salvedad del último movimiento que se separa, siempre, del primer grupo. Esta excepción, como se ha comentado, se fundamenta en la seguridad implícita de iniciar la marcha con los actuadores en su estado inicial. Así, haciendo la división en grupos y trazando líneas divisorias:

---

<sup>61</sup> Aspecto que se ha tratado en el apartado 6.6.3 “Medidas de diseño inherentemente seguras”

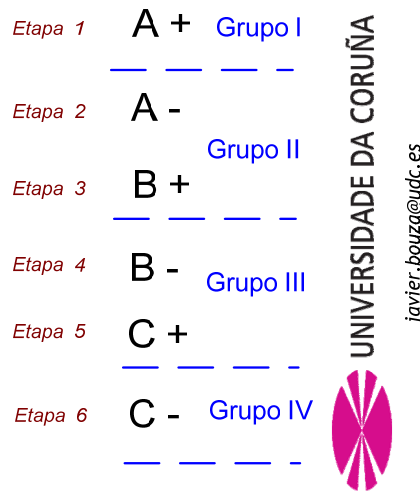


Figura 7.2.1.2.- División en grupos de la representación en texto (secuencial mínimo).

Una vez realizados los grupos, se le asignan las entradas que confirman cada etapa y cada grupo. A estas entradas se les denomina, en esta Tesis, “Condiciones de transición”.

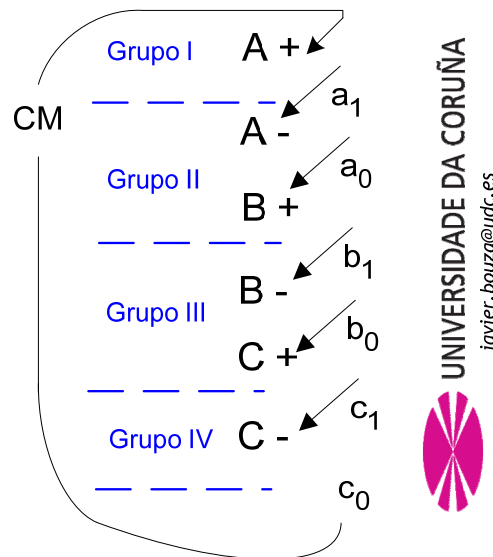


Figura 7.2.1.3.- Representación en texto del sistema secuencial mínimo.

En este tipo de representación en texto, puede ser significativo distinguir la condición de transición que origina el cambio de grupo para agilizar la

posterior implementación del algoritmo de control. Y de esta forma, la representación queda:

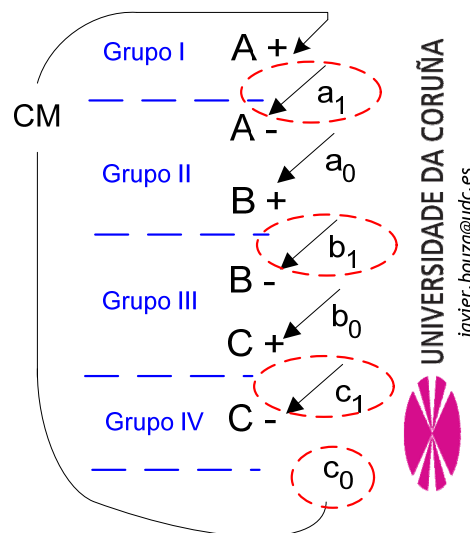


Figura 7.2.1.4.- Representación en texto del sistema secuencial mínimo para implementación.

Por tanto: dispondremos de cuatro grupos a los cuales se le asigna una memoria auxiliar biestable RS. Así, respectivamente, “x”, “y”, “z” y “w” para los grupos del uno al cuatro. Además, las cuatro memorias serán secuenciales entre sí y con condiciones de transición entre ellas producidas por las entradas marcadas en círculos. Esto conllevará a que sólo será posible el cambio de grupo si el grupo anterior y su condición de transición están activados. De esta manera, la ejecución de las etapas que coinciden con el inicio de grupo (etapas 1, 2, 4 y 6) implicará que el grupo en que el están inmersos esté activado. Y el resto de las etapas (3 y 5) incluirán no sólo el grupo sino también la condición de transición.

A continuación, se implementa el algoritmo de funcionamiento sobre un circuito neumático con electroválvulas monoestables servopilotadas 5/2. Para la experimentación, se añade una señal de Rearme que permite resetear las memorias empleadas (p. ej. en caso de avería o primer ciclo). Posteriormente, y siguiendo el procedimiento definido en el Capítulo IV, se estudiará el segundo

bloque de la Síntesis y, en consecuencia, como implementar las condiciones de operatividad y seguridad sin perder la visión total del funcionamiento del sistema.

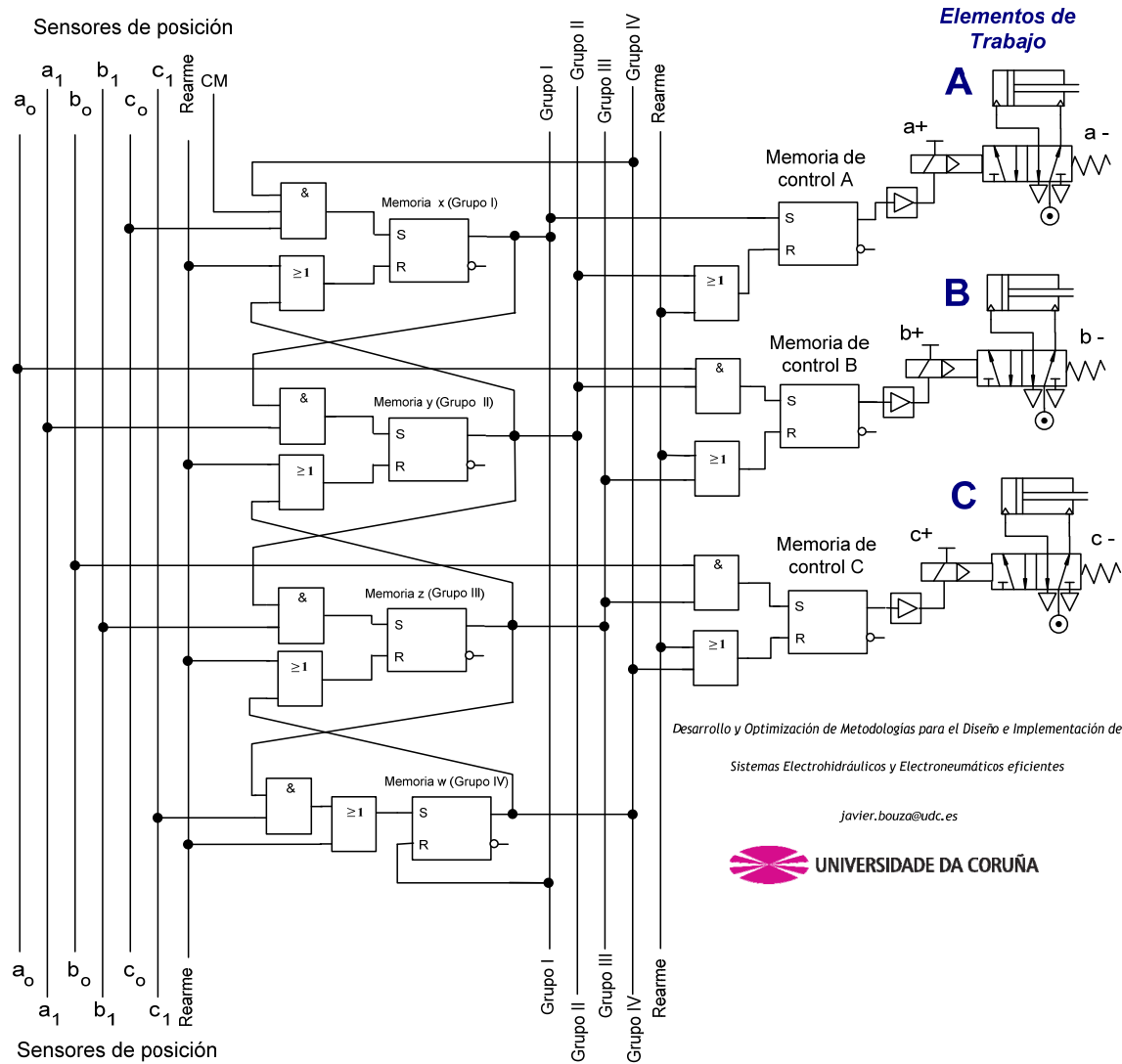


Figura 7.2.1.5.- Solución secuencial mínima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 - opción 1.

Si se ha de indicar que, en esta primera solución funcional, la secuencia una vez iniciada evolucionará hasta alcanzar la etapa 6 quedando la última memoria (la “w”) como activada en el estado reposo.

Se propone una segunda opción que anula la memoria “w” al finalizar correctamente la secuencia y que completa la orden inicial de marcha con el

estado inicial de todos los actuadores y con la verificación de que las etapas posteriores están desactivadas. De esta forma, el *sistema secuencial mínimo preserva que durante el proceso de evolución de la secuencia no pueda ser activada otra orden de condición de marcha hasta que finalice el proceso correctamente*. A continuación, se muestra la solución para el circuito neumático con electroválvulas monoestables servopilotadas 5/2.

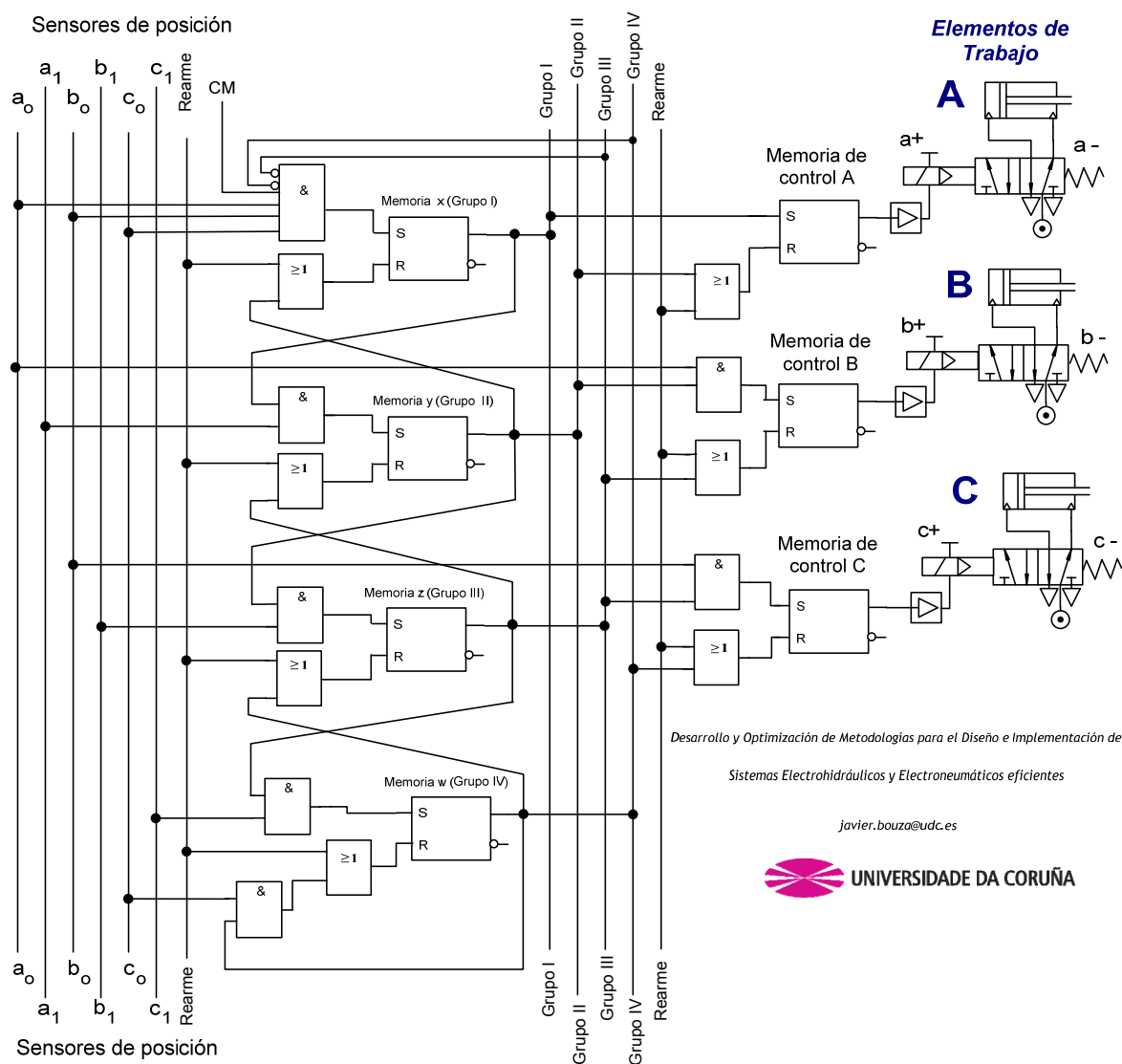


Figura 7.2.1.6.- Solución secuencial mínima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 - opción 2.

Siguiendo con esta segunda opción, se muestra una solución para un circuito hidráulico con electroválvulas monoestables 4/2.

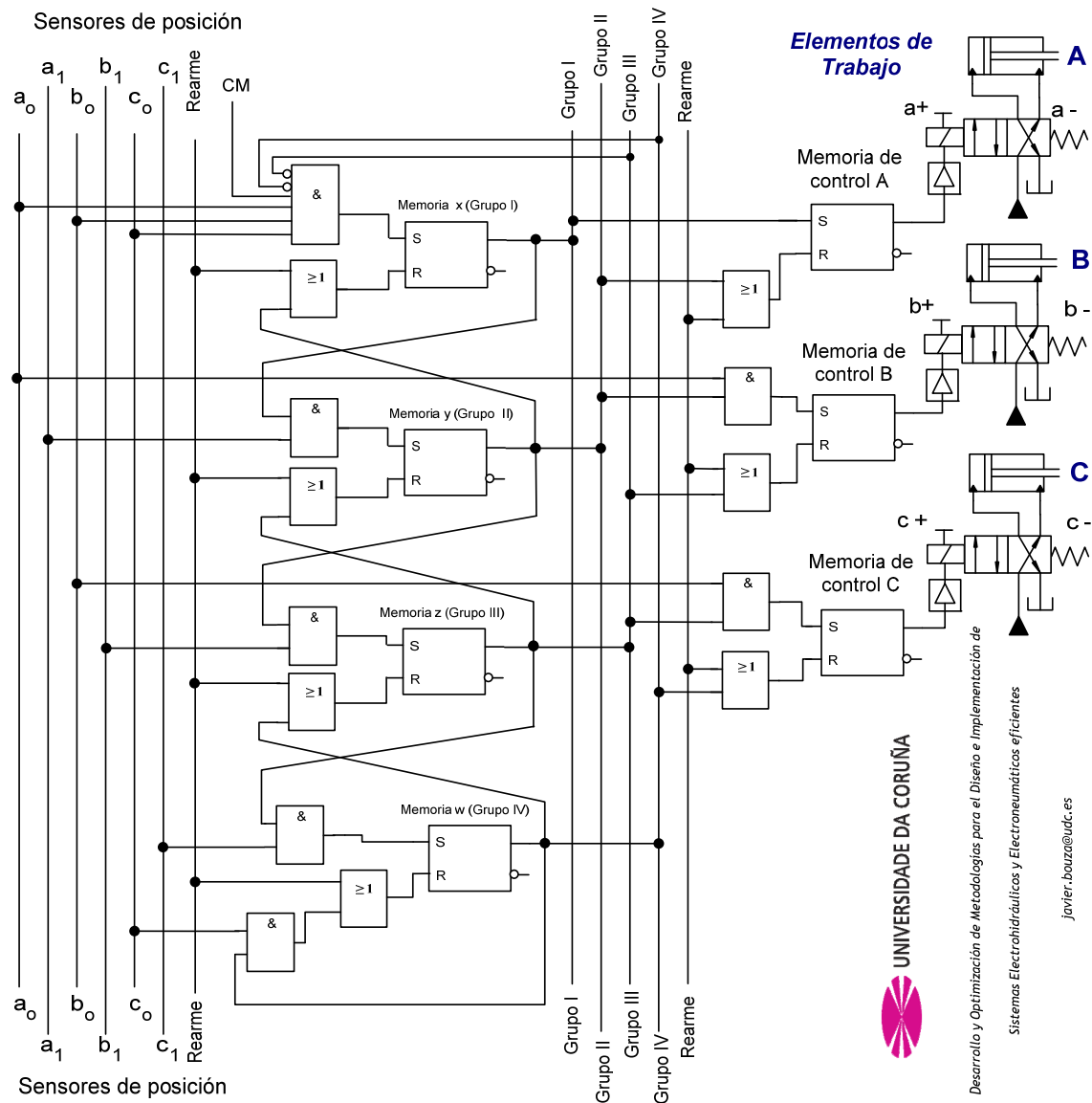


Figura 7.2.1.7.- Solución secuencial mínima hidráulica de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 4/2 - opción 2.

Según la tipología escogida de las electroválvulas y, concretamente, en el caso del empleo de distribuidores de potencia biestables se podría prescindir de las memorias de control. Si bien, en esta Tesis se recomienda utilizar el *Procedimiento predefinido de las memorias de control*, esta opción podría ser perfectamente correcta. Así, se presenta una tercera opción sobre la solución neumática con electroválvulas biestables servopilotadas y sin memorias de control:

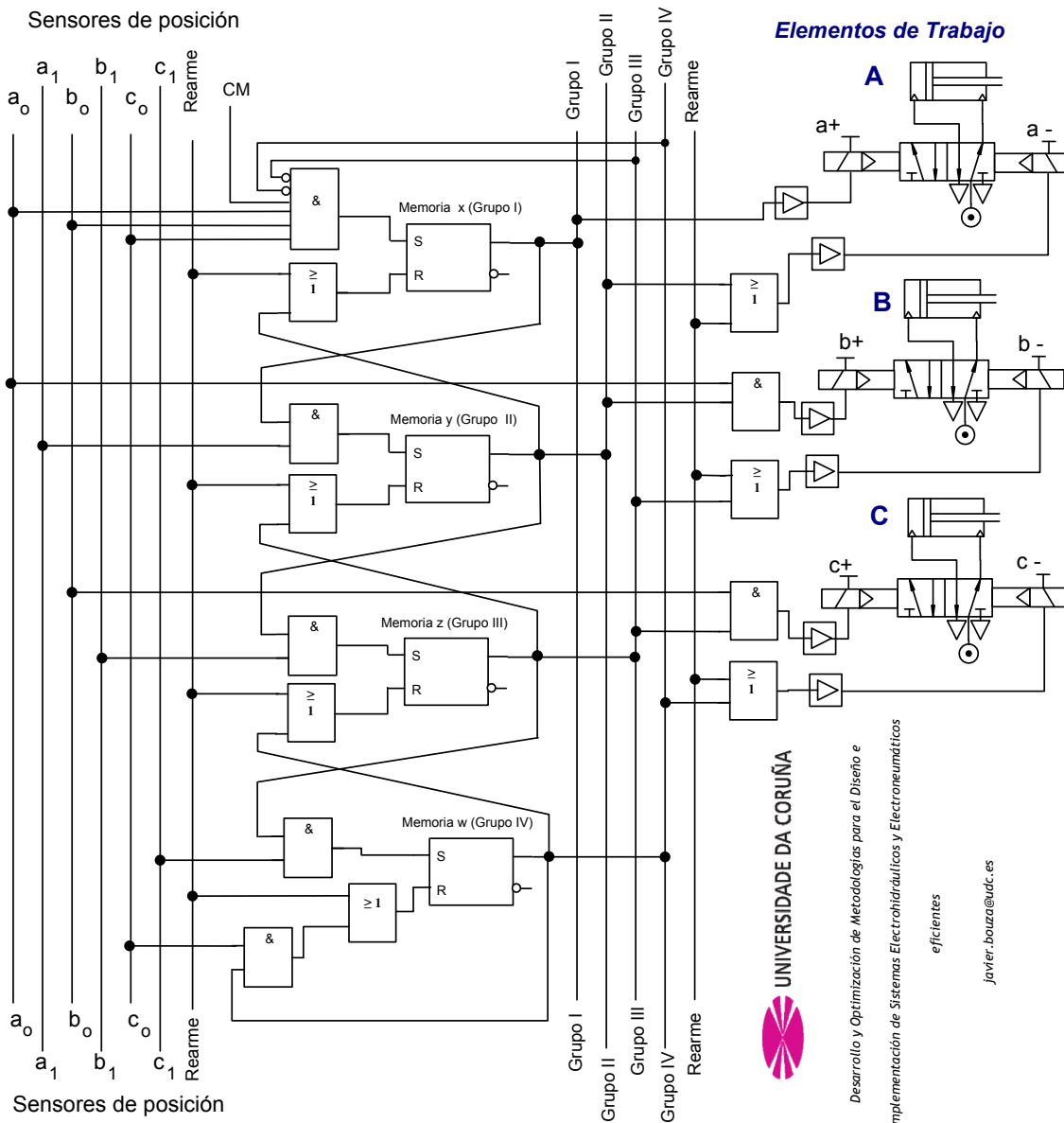


Figura 7.2.1.8.- Solución secuencial mínima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas biestables 5/2 - opción 3 (sin memorias de control).

También, esta opción 3 sin memorias de control, se podrá aplicar a circuitos con electroválvulas monoestables donde las acciones de todos sus elementos de trabajo sean secuenciales: cada actuador sale en una etapa y entra en la siguiente y así sucesivamente con todos. Y por tanto, una solución electrohidráulica y sin empleo de memorias para la secuencia estudio es:



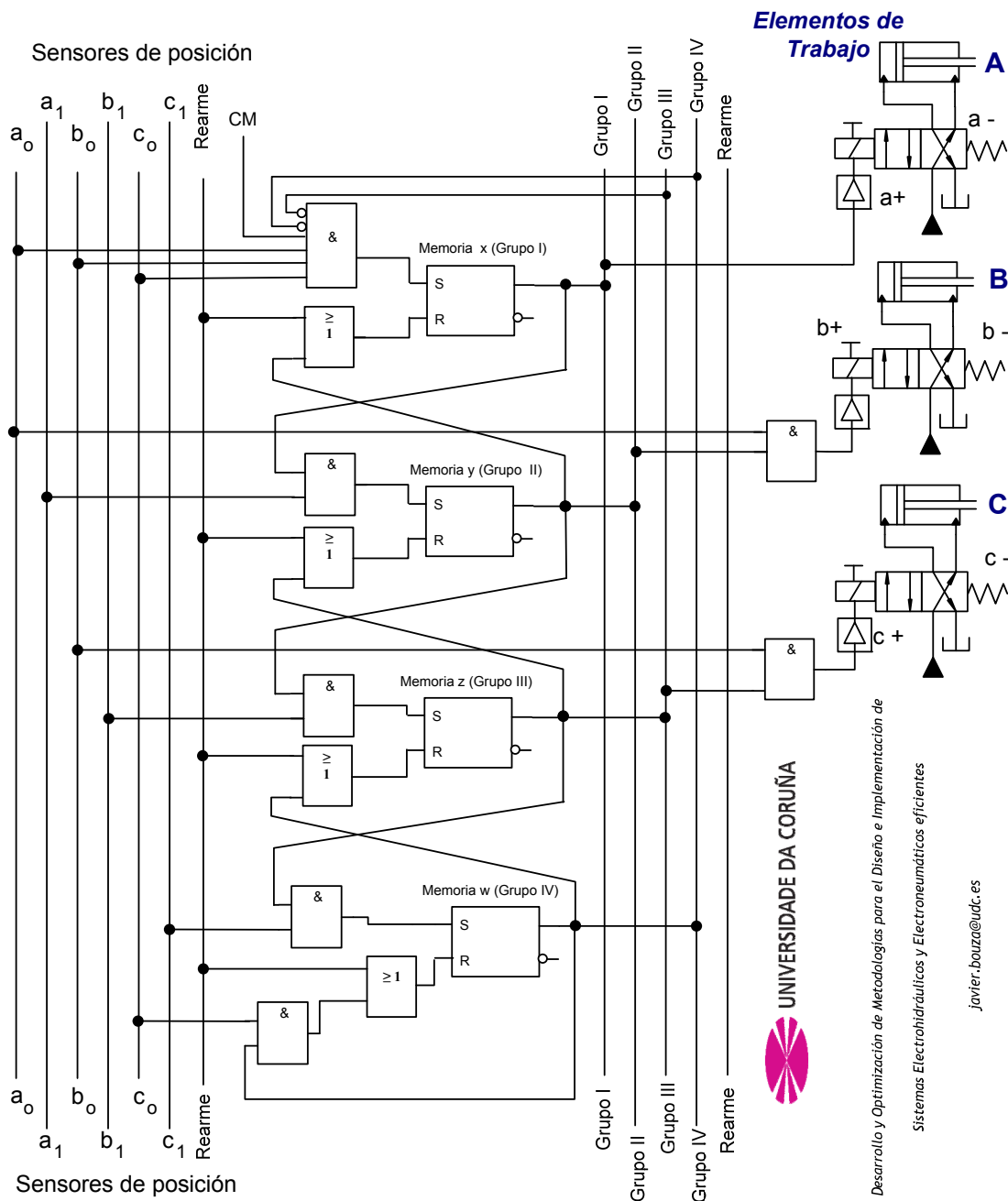


Figura 7.2.1.9.- Solución secuencial mínima hidráulica de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas 4/2 monoestables opción 3 (sin memorias de control).

A continuación, se indican unas normas para la aplicación del Método Secuencial Mínimo:

1. Representar el diagrama espacio-fase y de mando con las entradas que confirman la ejecución de la fase. Y tener en cuenta que si la

secuencia es de inversión exacta entonces el Método Combinacional I puede ser, también, una solución adecuada. Y como se demostró en dicha metodología, la seguridad esta garantizada: al no producirse nunca señales simultáneas tanto sobre un mismo distribuidor como sobre distribuidores diferentes.

2. Dividir la secuencia en grupos, de modo que cada grupo abarque el mayor número de órdenes de mando consecutivas y no antagónicas. Esto, se puede realizar:
  - a. sobre el análisis del Diagrama espacio-fase y sus entradas que confirman la ejecución de fase,
  - b. o bien, a través de la representación en texto simplificada de la secuencia y siguiendo para su división el siguiente criterio: que cada grupo abarque el máximo de número de letras distintas posibles
3. Con objeto de incrementar la seguridad inherente del sistema, los grupos formados por las fases primera y última no se combinan y de esta forma se garantiza que sólo se pueda iniciar un nuevo ciclo cuando la secuencia finalice correctamente.
4. Se asigna una memoria auxiliar biestable RS a cada grupo: las memorias deben ser consecutivas y no cruzarse entre sí.
5. Para preservar que durante la evolución de la secuencia no se active otra orden de condición de marcha hasta que finalice el proceso (p. ej. por error del operador) se introduce, en la definición de activación de la primera memoria, el estado inicial de los actuadores y la verificación de la desactivación de las memorias auxiliares empleadas (la segunda memoria no será necesaria introducirla puesto que desactiva, por defecto, la primera memoria).
6. Se distingue entre las órdenes que efectúan cambio de grupo y ejecución de etapa de las que sólo implican etapa.

7. Se aplica el Procedimiento predefinido de las Memorias de Control, expuesto en esta Tesis: se utilizan tantas memorias biestables RS asíncronas como accionamientos electromagnéticos tengan los distribuidores empleados con objeto de que memoricen sus órdenes y sus efectos.
8. Opcionalmente, si bien se prefiere el criterio del punto 7, se podría prescindir de la Memorias de Control sobre los distribuidores de potencia en tres casos:
  - a. Cuando el distribuidor empleado es de tipología biestable y, por tanto, dispone de capacidad para memorizar la orden de mando.
  - b. Aquellos elementos de Trabajo donde sus movimientos antagónicos son consecutivos y la tipología de los distribuidores de potencia empleados son de dos posiciones y monoestables.
  - c. Aquellos elementos de Trabajo gobernados por distribuidores de potencia de tres posiciones y monoestables cuya posición central de reposo conjuntamente con el circuito fluídico implementado permitan retener y sujetar el actuador de manera segura. Así, por ejemplo, el uso de electroválvulas hidráulicas 4/3 o neumáticas 5/3 con posición central libre acompañada de antirretornos pilotados permitirá prescindir de las memorias de control sobre dichos distribuidores.

Finalmente, reseñar que la apuesta preferente de “disponer siempre memorias de control sobre los distribuidores de potencia” se argumenta en aumentar la seguridad del diseño<sup>62</sup>. Además, este uso en los PLC´s de gama media y alta, no supone ninguna limitación en sus recursos disponibles ni un coste mayor. De todas formas, se ha decidido presentar la opción “sin memorias de control” para aquellos controladores programables más limitados como pueden ser los denominados “relés electrónicos”.

---

<sup>62</sup> Fomentar las “Medidas de diseño inherentemente seguras” (aspecto que se ha tratado en el apartado 6.6.3)

### 7.2.3 Solución con las entradas presentes al iniciarse la fase.

El Método secuencial mínimo con entradas presentes al iniciarse la fase es una consecuencia directa del método combinacional II. Al igual que en susodicho método, se inicia con el diagrama desplazamiento-fase simplificado. Luego, se divide la secuencia en el menor número de grupos de salida, de forma que en las distintas agrupaciones no contengan órdenes de mando idénticas.

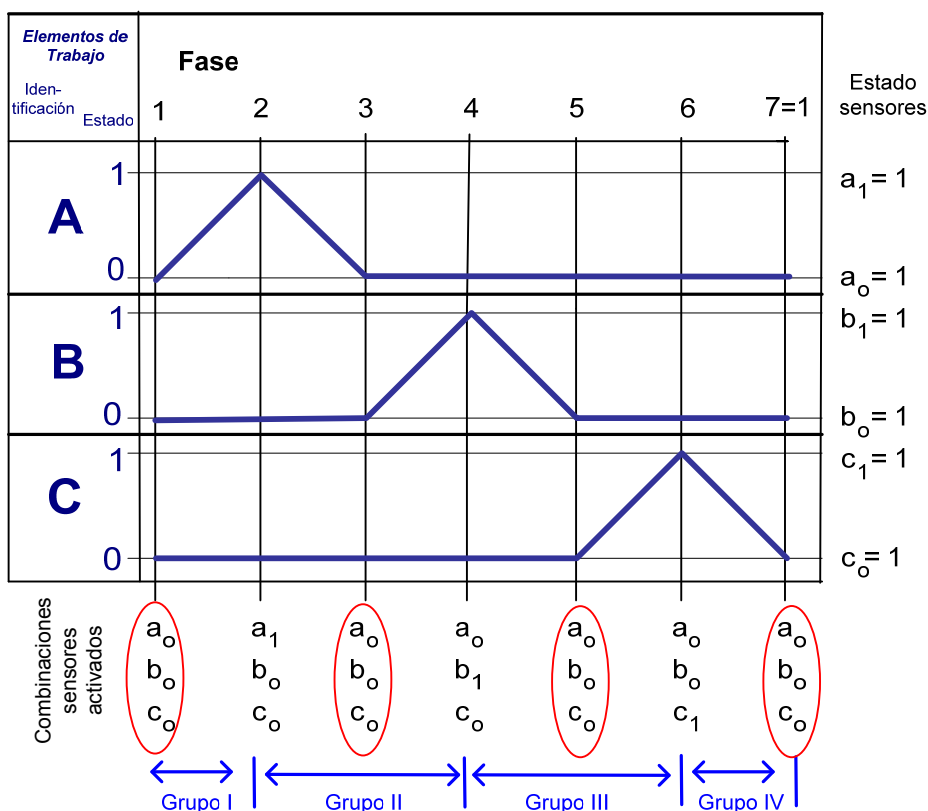


Figura 7.2.3.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C-

De manera análoga, a la solución anterior, se realiza la división. Para definir la delimitación de los grupos se pueden trazar unas líneas divisorias identificativas. De esta forma:

- i. Las combinaciones de los sensores de posición de las fases primera, tercera y quinta quedan en grupos distintos y, por tanto, se forman cuatro grupos. Así, se evitan las señales permanentes puesto que cada grupo sólo cubrirá acciones no antagónicas y sólo podrá haber un grupo activo al mismo tiempo.

- ii. Y los grupos formados por las fases primera y sexta no se combinan y se garantiza que sólo se pueda iniciar un nuevo ciclo cuando la secuencia finalice correctamente.

Una vez realizado los grupos, se le asigna una memoria auxiliar biestable RS a cada uno. En el siguiente diagrama simplificado se presenta la solución secuencial mínima sin minimizar

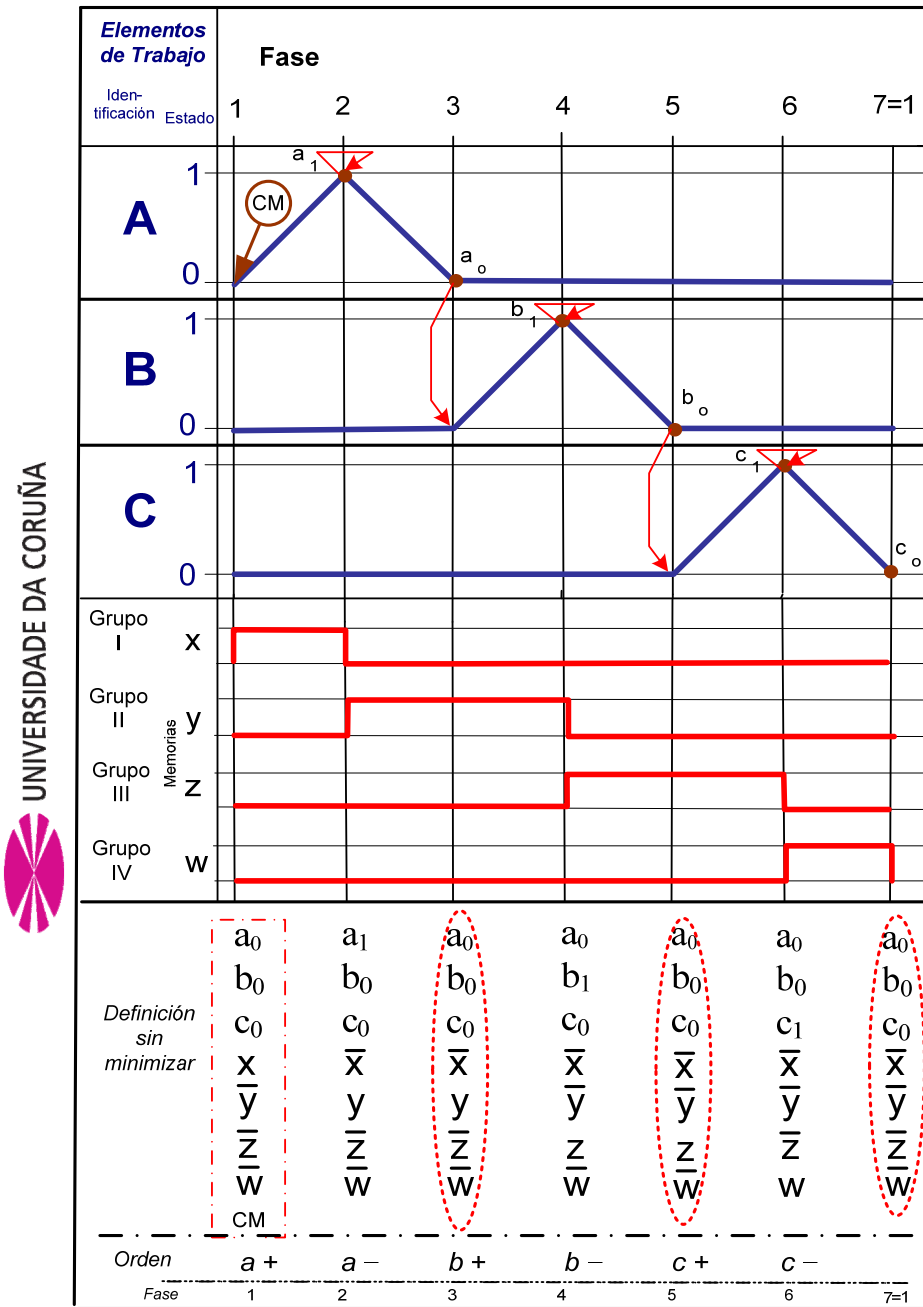


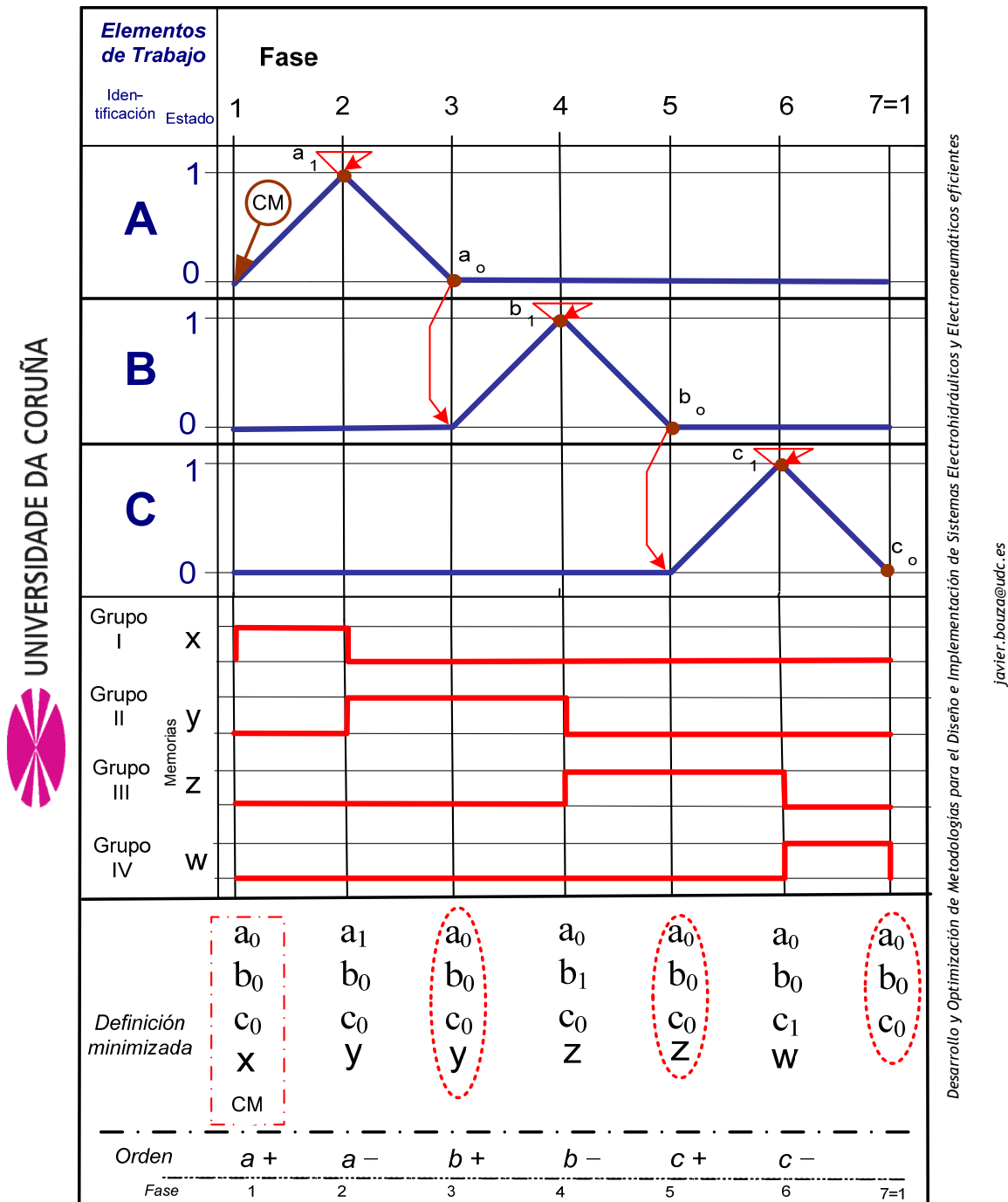
Figura 7.2.3.2.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima sin minimizar.

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

A continuación se presenta una primera propuesta de solución minimizada. Con el precepto de que las memorias auxiliares no se crucen entre sí y que sean activadas y desactivadas, en cada etapa, antes de las órdenes de mando.



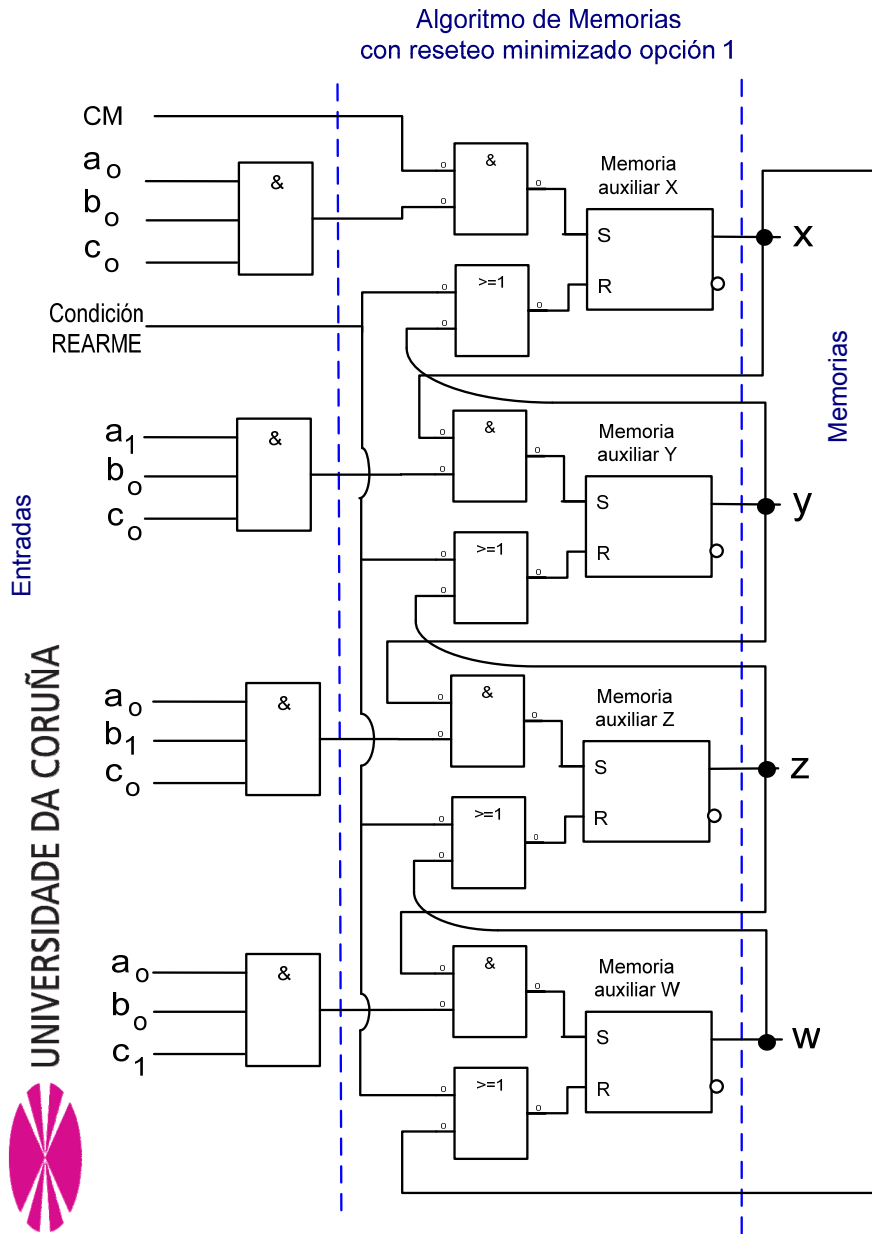
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.2.3.3.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 1.

Y la definición, en lenguaje FBD<sup>63</sup>, para esta opción 1 minimizada de las memorias auxiliares:



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.2.3.4.- FBD de memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 1.

Del análisis del algoritmo de las memorias opción 1, se infiere una segunda minimización de las órdenes de mando:

<sup>63</sup> FBD = "Function Block Diagram" según IEC 1131-3

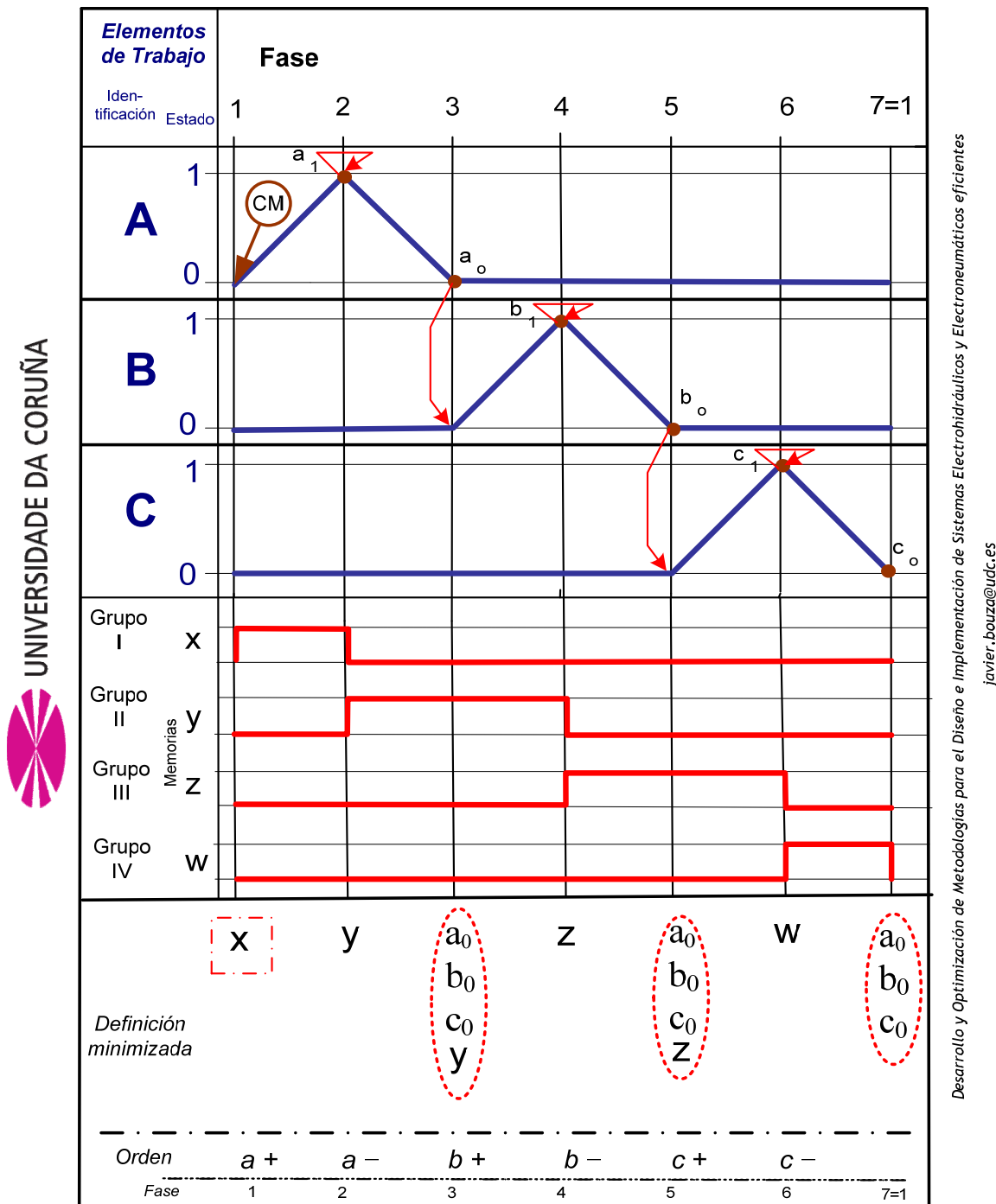
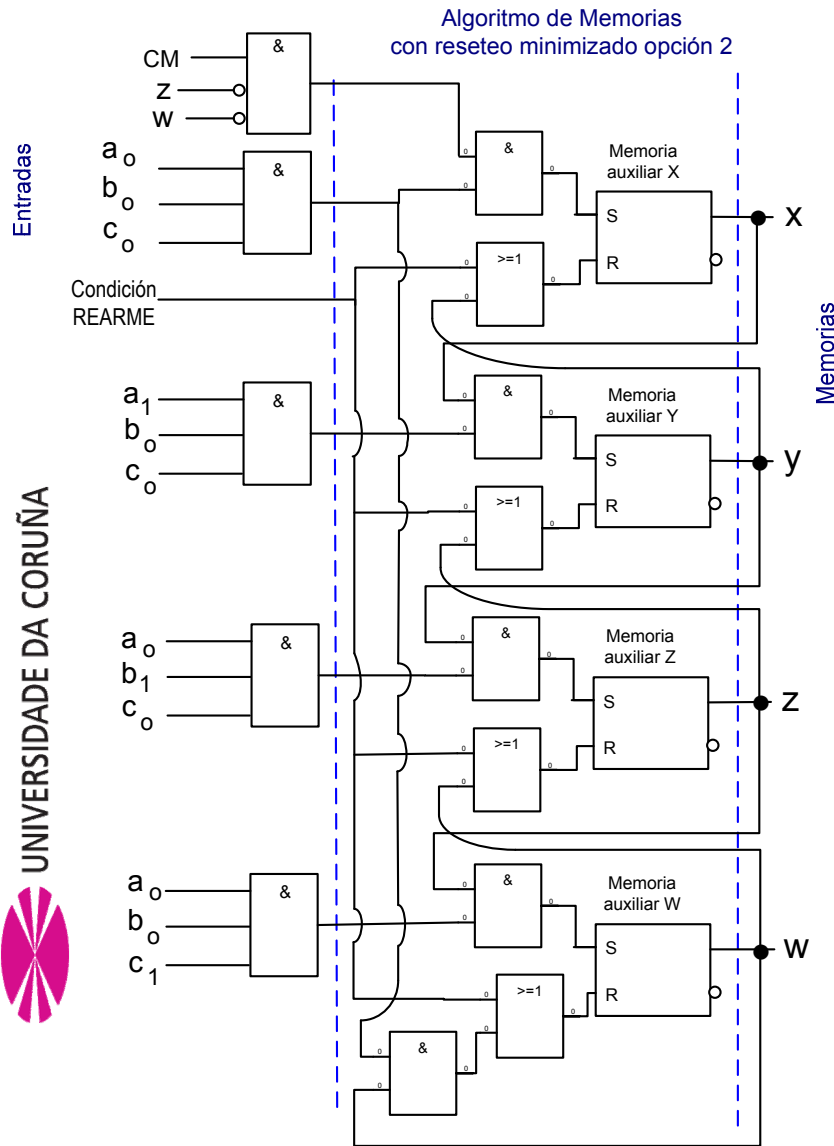


Figura 7.2.3.5.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 2.

Si indicar que en ambas soluciones funcionales minimizadas, la secuencia una vez iniciada evolucionará hasta alcanzar la etapa 6 quedando la última memoria como activada (esta memoria “w” permanecerá activada en el estado



reposo del sistema). Se propone desactivar esta memoria al finalizar la secuencia. Y, por tanto, la nueva definición de las memorias será:



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Figura 7.2.3.6.- FBD de memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima minimizada opción 2.

Para preservar que durante la evolución de la secuencia no se active otra orden de condición de marcha hasta que finalice el proceso (p. ej. por error del operador) se introduce, en la definición de activación de la primera memoria, el estado inicial de los actuadores y la verificación de la desactivación de las memorias auxiliares “z” y “w”. La segunda memoria, “y”, no será necesaria introducirla puesto que desactiva, por defecto, la primera memoria “x”.

7.2.4 Resumen del Método Secuencial Mínimo

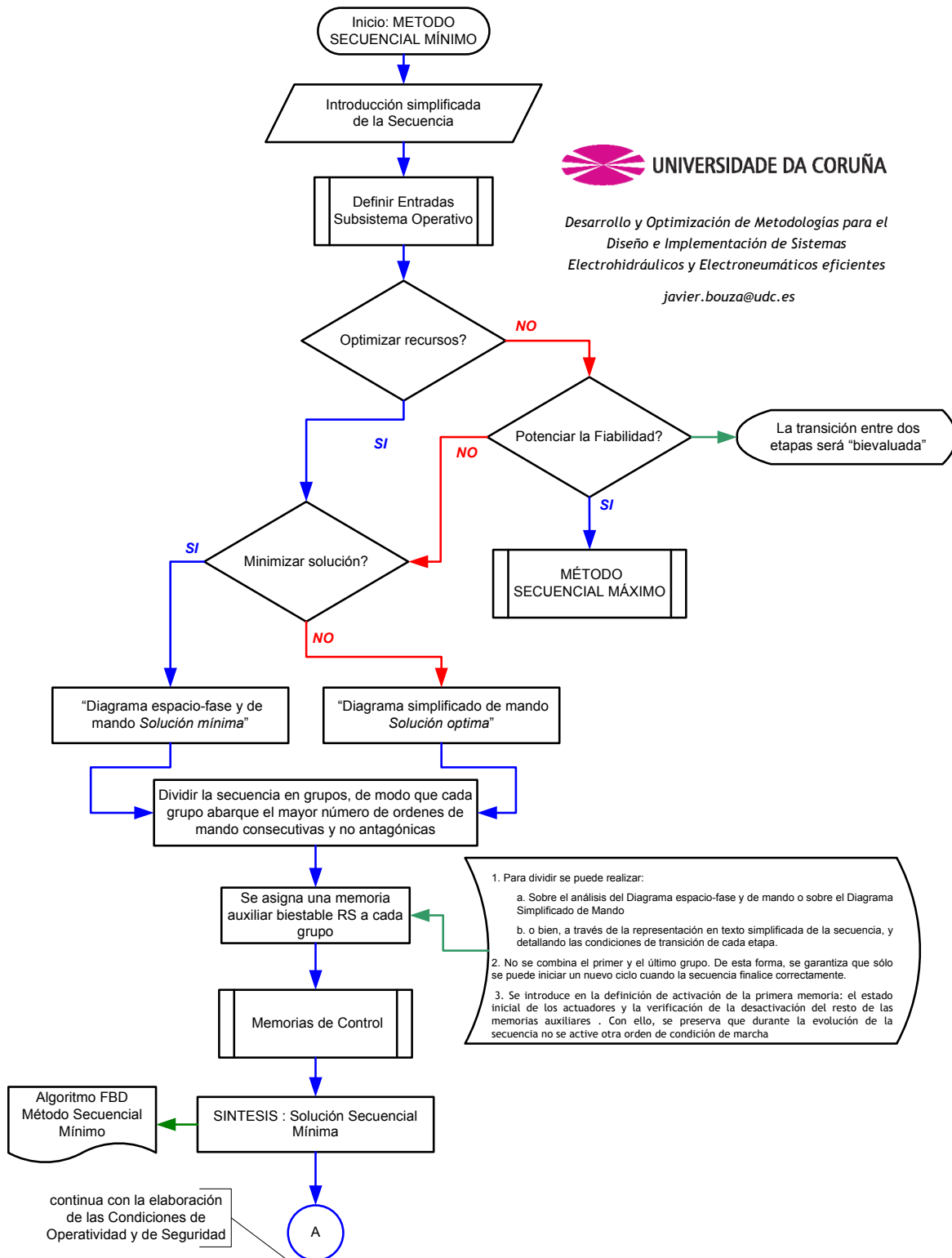


Figura 7.2.4. - Flujograma del Método Secuencial Mínimo.

### 7.2.5 Implementación de las condiciones de operatividad y de seguridad

En los apartados anteriores, se ha trabajado el primer bloque de la síntesis (expuesto en el capítulo IV) y que desarrolla una primera solución que contempla el funcionamiento detallado del proceso con un único modo de operación genérico denominado “CM” o condición de marcha. Se le ha añadido, a mayores, una condición de Rearme provisional para su experimentación y evaluación. Ahora, al igual que en las soluciones combinatoriales, se trabaja el segundo bloque que define y confecciona las condiciones de servicio y de seguridad del sistema sobre el primero. Como, se reseñó, esta forma de proceder permite implementar estos aspectos sin perder la visión total del funcionamiento del proceso.

Primeramente, identificamos y definimos las variables del algoritmo de control, que son:

Tabla 7.2.5.1.- Entradas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

| <i>Entrada</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>  |
|----------------|--------------------|---|
| I1             | $a_0$              | Sensor reed (NA) <sup>64</sup>  |
| I2             | $a_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I3             | $b_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I4             | $b_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I5             | $c_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I6             | $c_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I7             | CM                 | Pulsador de Marcha (NA)   |
| I8             | PARO               | Interruptor de Paro (NC) <sup>65</sup>  |
| I9             | REARME             | Pulsador de Rearme (NA)   |
| I10            | PRESENCIA          | Condición de seguridad (NC). Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina |

<sup>64</sup> NA = normalmente abierto

<sup>65</sup> NC = normalmente cerrado

Tabla 7.2.5.2.- Salidas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

| <i>Salida</i> | <i>Designación</i>      | <i>Observación</i>                                   |
|---------------|-------------------------|--|
| Q1            | <i>a +</i>              | <i>Actuación A +/ (Actuación A – desactivada Q1)</i> |
| Q2            | <i>b+</i>               | <i>Actuación B +/ (Actuación B – desactivada Q2)</i> |
| Q3            | <i>c+</i>               | <i>Actuación C+ / (Actuación C – desactivada Q3)</i> |
| Q4            | <i>Energía Fluídica</i> | <i>Activa / desactiva Energía Fluídica</i>           |

Tabla 7.2.5.3.- Memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

| <i>Memoria</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>                    |
|----------------|--------------------|---------------------------------------|
| M1             | <i>marca x</i>     | <i>Memoria auxiliar X (Grupo I)</i>   |
| M2             | <i>marca y</i>     | <i>Memoria auxiliar Y (Grupo II)</i>  |
| M3             | <i>marca z</i>     | <i>Memoria auxiliar Z (Grupo III)</i> |
| M4             | <i>marca w</i>     | <i>Memoria auxiliar W (Grupo IV)</i>  |
| M5             | <i>C_PARO</i>      | <i>Condición de Paro</i>              |
| M6             | <i>C_REARME</i>    | <i>Condición de Rearme</i>            |

A continuación, se desglosa el programa de control en diferentes módulos y se contrasta la solución estándar mediante lenguaje FBD con la propuesta de Bloques de Función definidos en esta Tesis. Para la implementación se usa el “Paro con corte de energía fluídica y mantenimiento de las memorias de control”<sup>66</sup>.

<sup>66</sup> Los circuitos fluídicos de potencia empleados se muestran en la Figura 7.3.5.17 y Figura 7.3.5.18 (al final del este capítulo).

Primeramente, la función de Paro

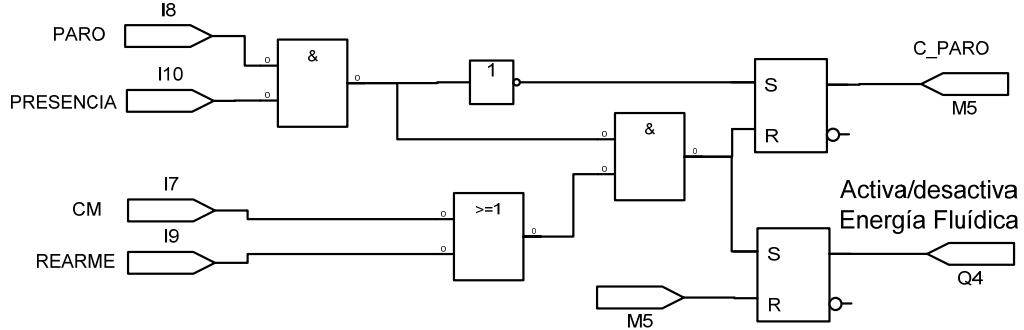


Figura 7.2.5.1.- FBD Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Se emplea un bloque “PARO 2”

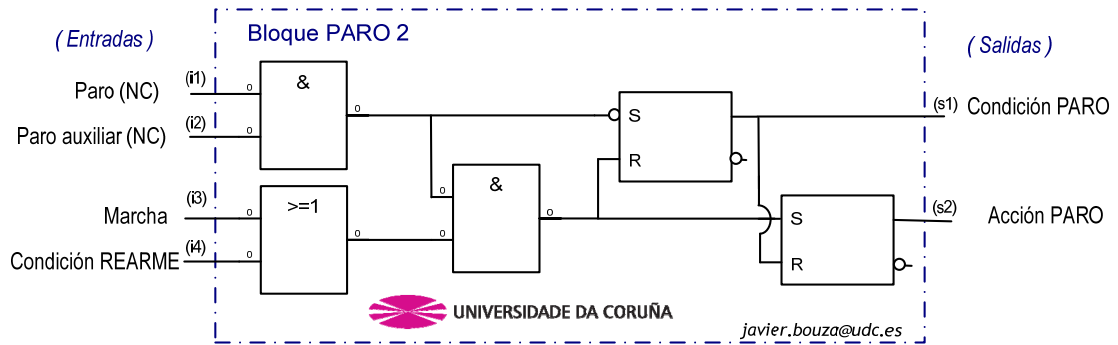


Figura 7.2.5.2.- Bloque Paro 2 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Y se sustituye:

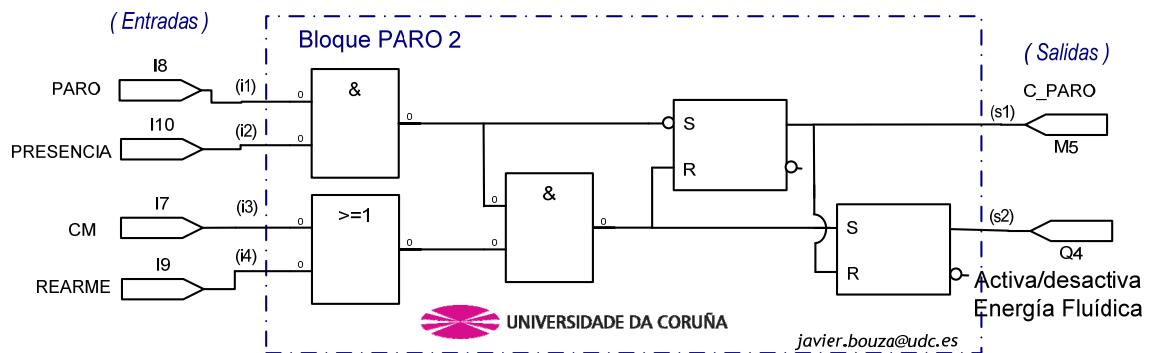


Figura 7.2.5.3.-Bloque definido de Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Ahora, la función de Rearme

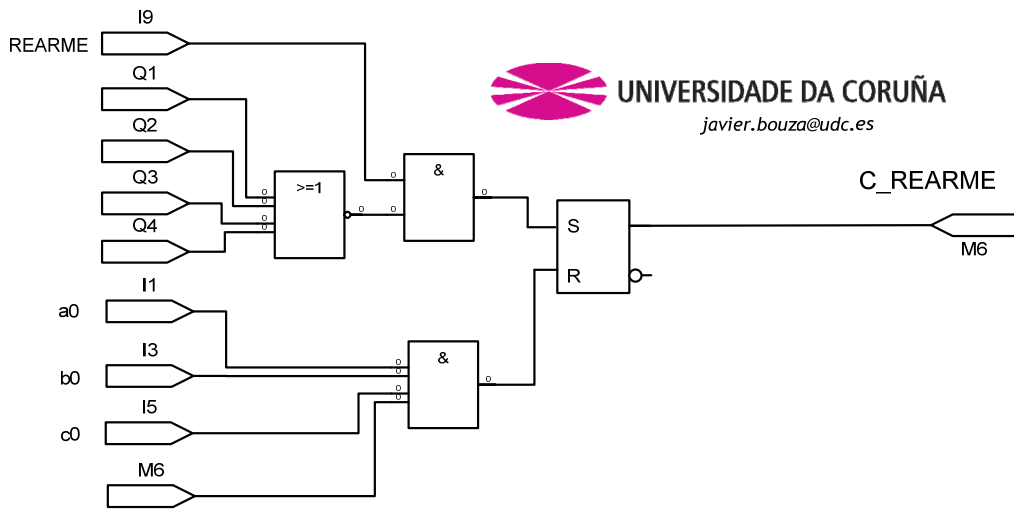


Figura 7.2.5.4.- FBD Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Se emplea un bloque “REARME”

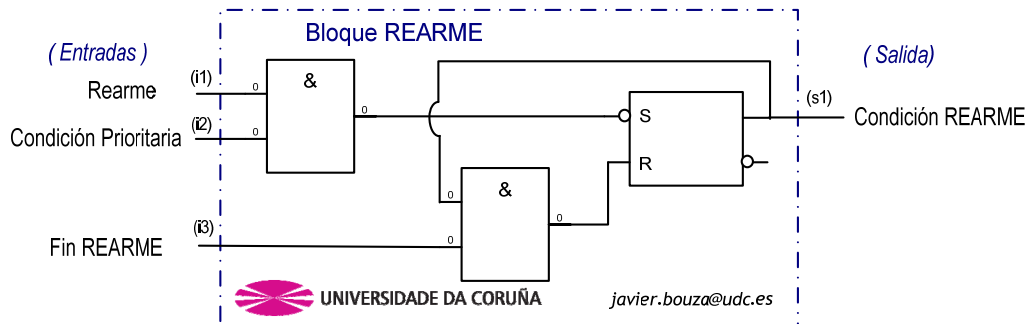


Figura 7.2.5.5.- Bloque Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Y queda:

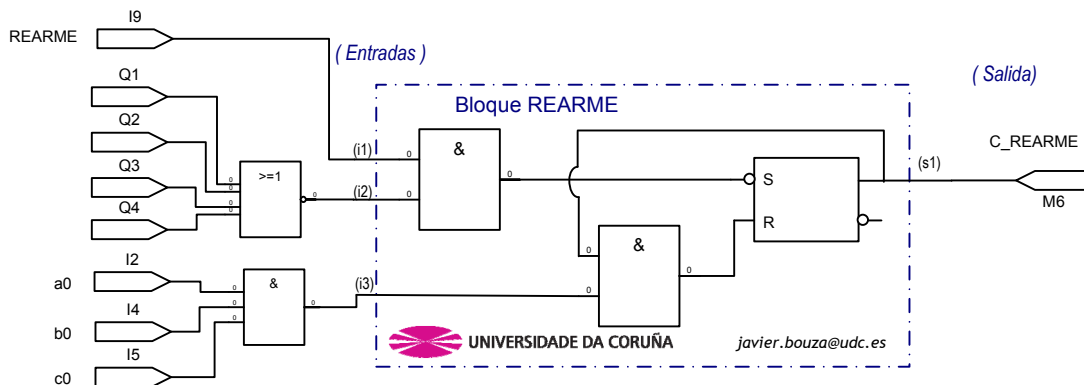
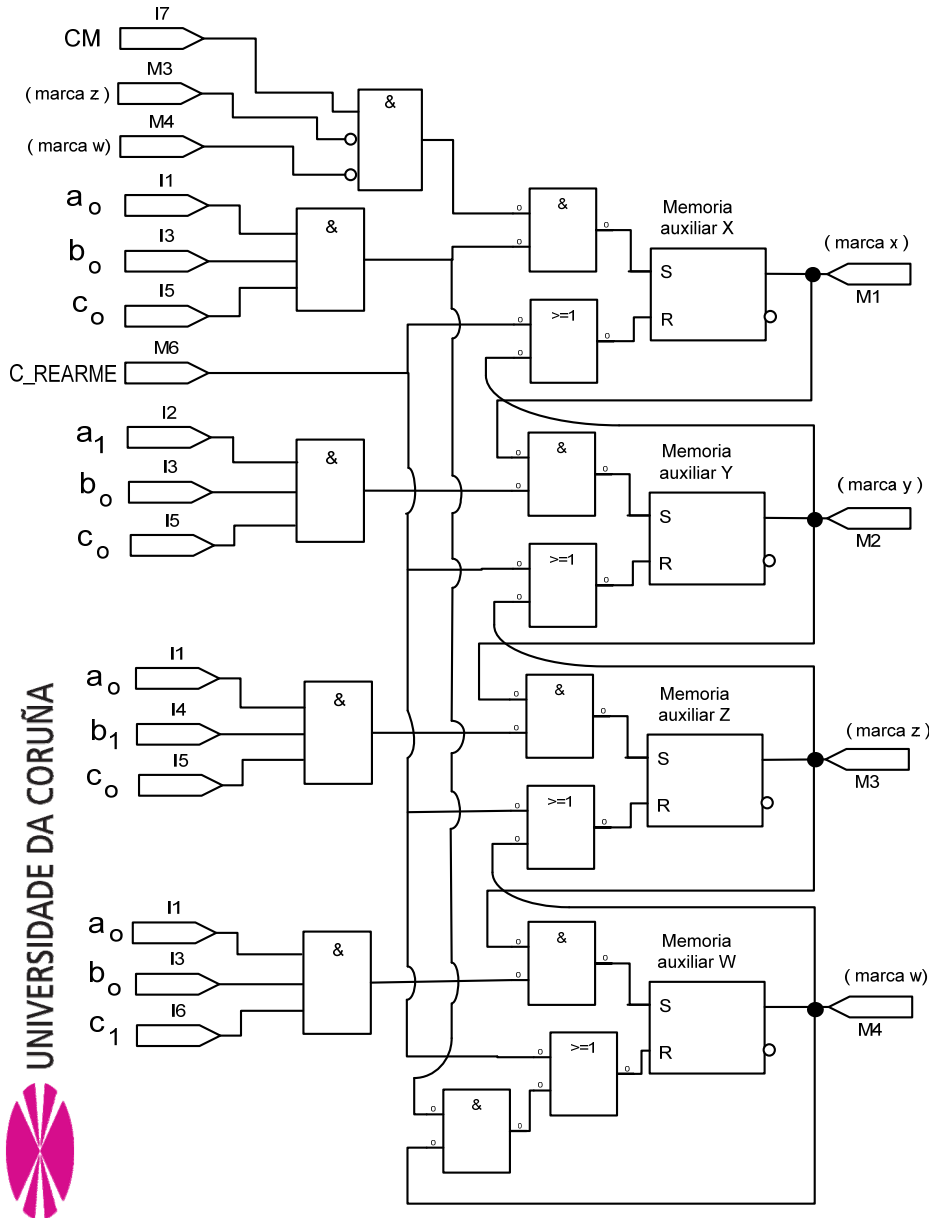


Figura 7.2.5.6.- Bloque definido de Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial mínima.

En cuanto a la definición de las memorias auxiliares y, a diferencia de los sistemas combinacionales, en los sistemas secuenciales se proponen dos soluciones de Bloques de función definidos. La razón se encuentra en la estructura semejante que presentan sus memorias.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.2.5.7.- FBD memorias auxiliares - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Para la primera solución por Bloques definidos, se han creado tres nuevos módulos para definir el algoritmo de las memorias auxiliares:

El primero, denominado “CADENA 1”, se empleará en la etapa inicial de la secuencia.

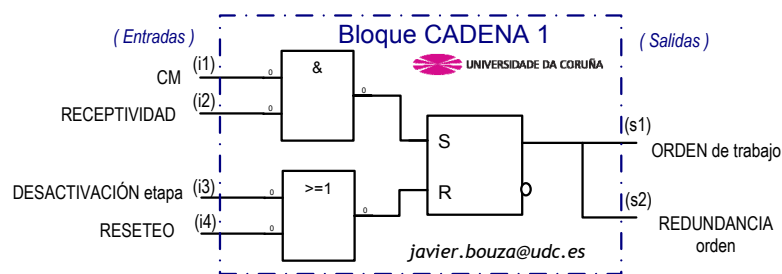


Figura 7.2.5.8.- Bloque CADENA1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Las entradas de este bloque son:

- 1) CM = Es la señal que inicia el arranque del sistema secuencial.
- 2) RECEPTIVIDAD = es una proposición lógica que conjuntamente con la CM son las condiciones que activan la salida “ORDEN de trabajo” a través de un módulo “Y”. La receptividad se define con las entradas externas (sensores y captadores de información) e internas (temporizadores, contadores, estados activos o inactivos de otras etapas,...) que, en el momento preciso, son necesarios para la ejecución de la orden.
- 3) DESACTIVACIÓN (etapa) = es la señal que pone a cero la memoria que registra el estado del Bloque “CADENA 1” y, en consecuencia, anula la “ORDEN de trabajo”.
- 4) RESETEO = Entrada que permite introducir una señal que borra la memoria biestable RS del módulo y, en consecuencia, anula la “ORDEN de trabajo” y su registro lo pone a cero.

Las salidas del bloque son:

- 1) ORDEN (de trabajo) = Es la señal de mando para el gobierno del distribuidor de potencia.



2) REDUNDANCIA (orden) = Es una señal auxiliar que repite la orden de mando.

El segundo bloque, denominado “CADENA 2”, tendrá su uso en los pasos comprendidos entre la segunda y penúltima etapa de la secuencia.

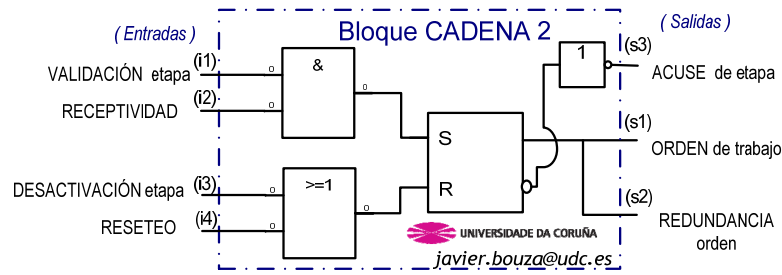


Figura 7.2.5.9.- Bloque CADENA2 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

En este segundo módulo, se añade una salida a mayores:

3) ACUSE (de etapa) = Es un señal auxiliar que repite la orden de mando pero a través de una vía de comunicación diferente.

El tercer bloque, denominado “CADENA 3”, se utiliza en la etapa final de la secuencia.

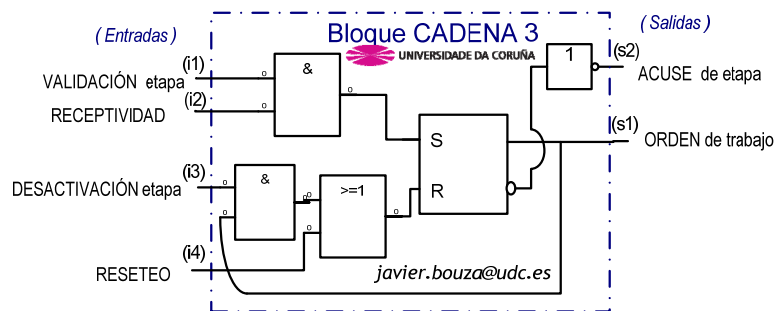
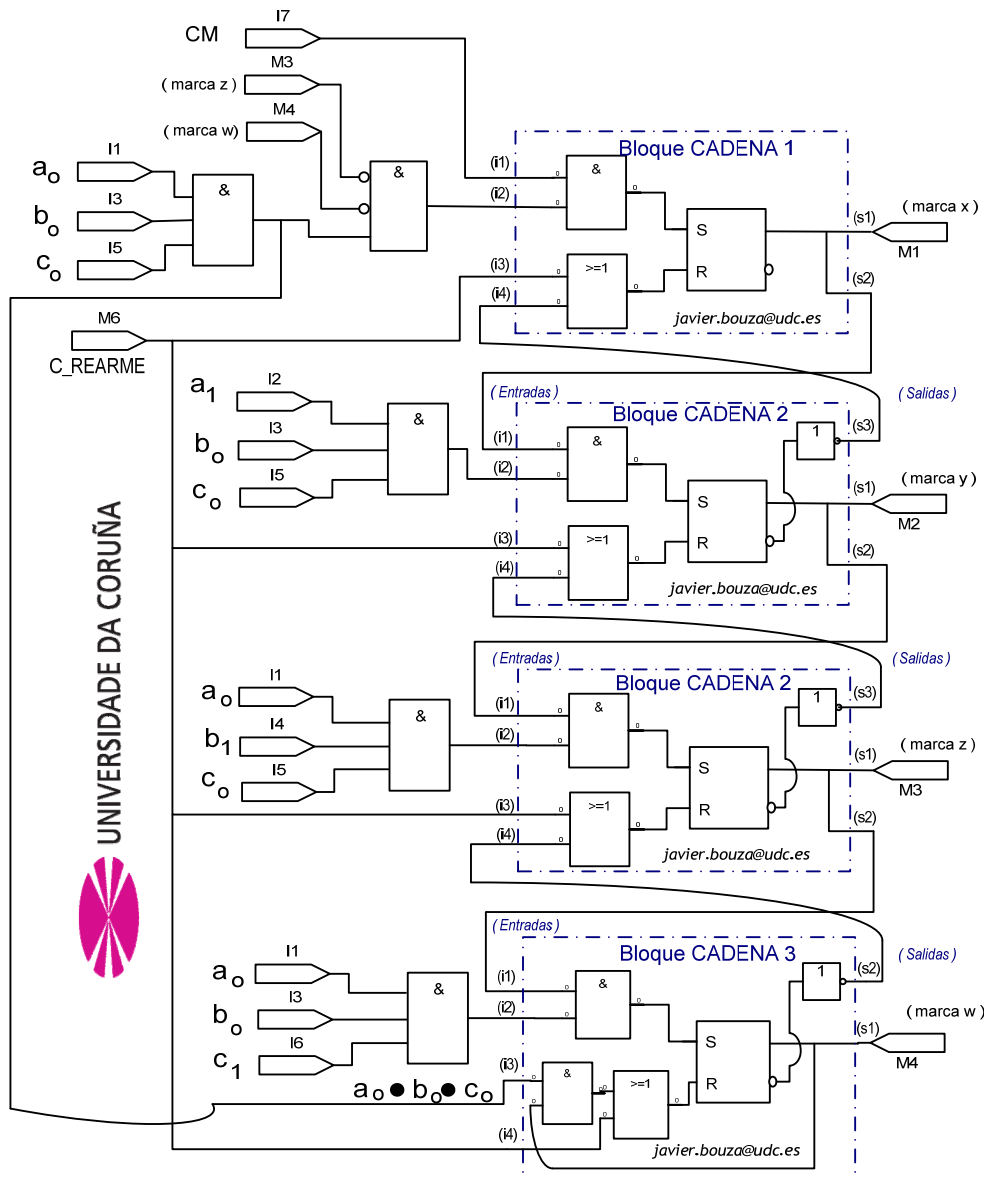


Figura 7.2.5.10.- Bloque CADENA3 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Las entradas y salidas de este tercer módulo son semejantes a los anteriores, pero con la salvedad de que una de sus salidas es interna y verifica el cumplimiento de la orden de mando.

Aplicando estos módulos para formar la primera solución con bloques definidos, queda:



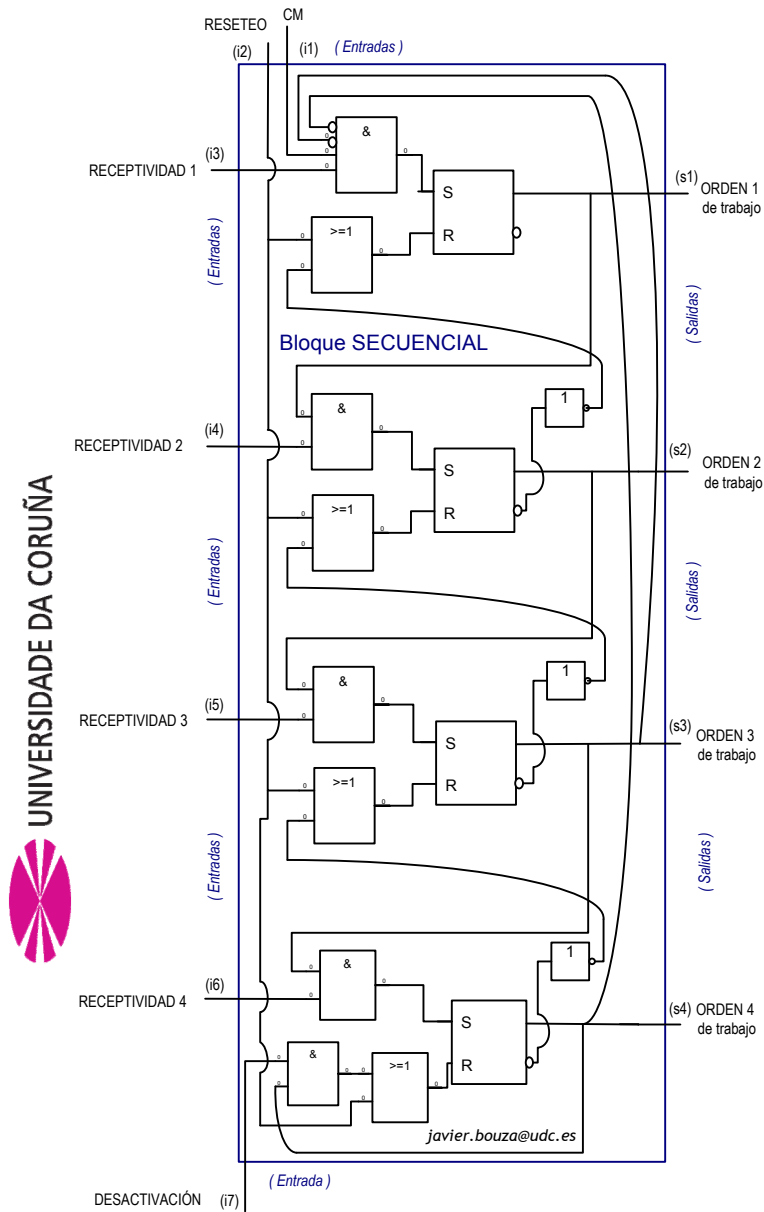
Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electromecánicos y Electroneumáticos eficientes  
 javier.bouza@udc.es

Figura 7.2.5.11.- Bloque definido de memorias auxiliares opción 1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

La segunda solución, consiste en conjugar los módulos anteriores en un único bloque para cuatro etapas. Con ello se logra:

- i. simplificar el número de conexiones a realizar.
- ii. Preserva que sólo sea posible activar la condición de marcha, CM, si la salidas están todas desactivas.
- iii. aumentar la seguridad en la conmutación, al ser un único bloque el que emite y supervisa las señales.

- iv. Ampliar o disminuir el número de etapas a cubrir con la unión de más bloques y/o mediante “el puenteo” de salidas con entradas.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.2.5.12.- Bloque Secuencial sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Las entradas de este bloque son:

- 1) CM = Es la señal que inicia el arranque del sistema secuencial.
- 2) RESETEO = Entrada que permite introducir una señal que borra todas las memorias biestables RS del módulo y, en consecuencia, anula todas las órdenes de trabajo y sus registros los pone a cero.

- 3) RECEPTIVIDAD 1 = es una proposición lógica que conjuntamente con la *CM* son las condiciones que a través de un módulo “Y” activan la *ORDEN 1* de trabajo. La receptividad es función de las entradas externas (sensores y captadores de información) necesarias para la ejecución de la orden. En esta entrada no será necesario introducir la verificación de estado inactivo de las órdenes 3 y 4 del bloque, puesto que ya se hace internamente.
- 4) RECEPTIVIDAD 2 = es una proposición lógica que conjuntamente con la *ORDEN 1* son las condiciones que activan la *ORDEN 2* de trabajo a través de un módulo “Y”.
- 5) RECEPTIVIDAD 3 = es una proposición lógica que conjuntamente con la *ORDEN 2* son las condiciones que activan la *ORDEN 3* de trabajo a través de un módulo “Y”.
- 6) RECEPTIVIDAD 4 = es una proposición lógica que conjuntamente con la *ORDEN 3* son las condiciones que activan la *ORDEN 4* de trabajo a través de un módulo “Y”.
- 7) DESACTIVACIÓN (etapa) = es la señal que pone a cero la memoria que registra *Orden 4* de trabajo y, en consecuencia, anula dicha orden de trabajo.

Las salidas del bloque son:

- 1) *ORDEN 1* (de trabajo) = Es la señal de mando de la *Orden 1* para el gobierno del distribuidor de potencia.
- 2) *ORDEN 2* (de trabajo) = Es la señal de mando de la *Orden 2* para el gobierno del distribuidor de potencia.
- 3) *ORDEN 3* (de trabajo) = Es la señal de mando de la *Orden 3* para el gobierno del distribuidor de potencia.
- 4) *ORDEN 4* (de trabajo) = Es la señal de mando de la *Orden 4* para el gobierno del distribuidor de potencia.

E implementando, con este único bloque, la secuencia estudiada queda:

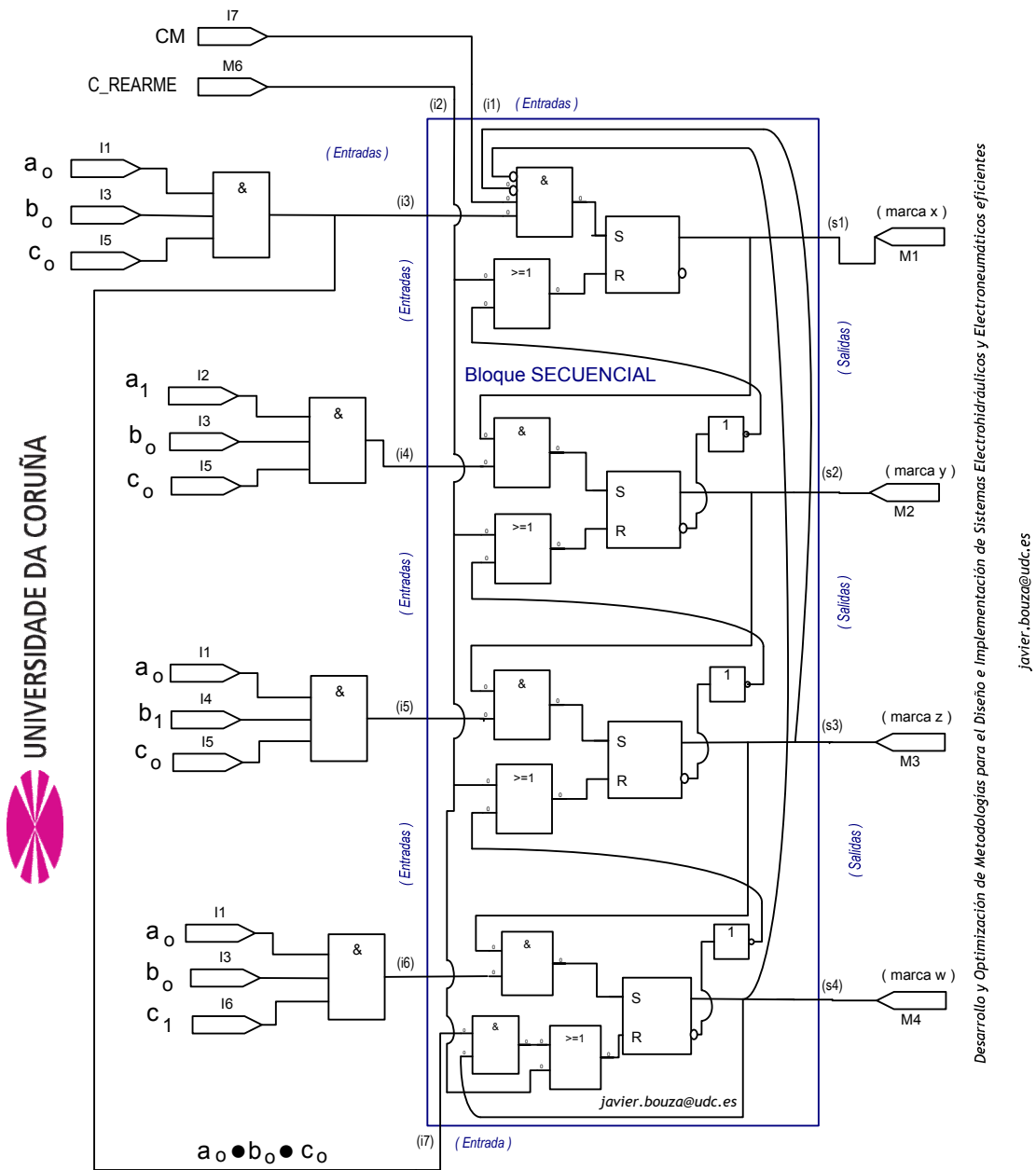
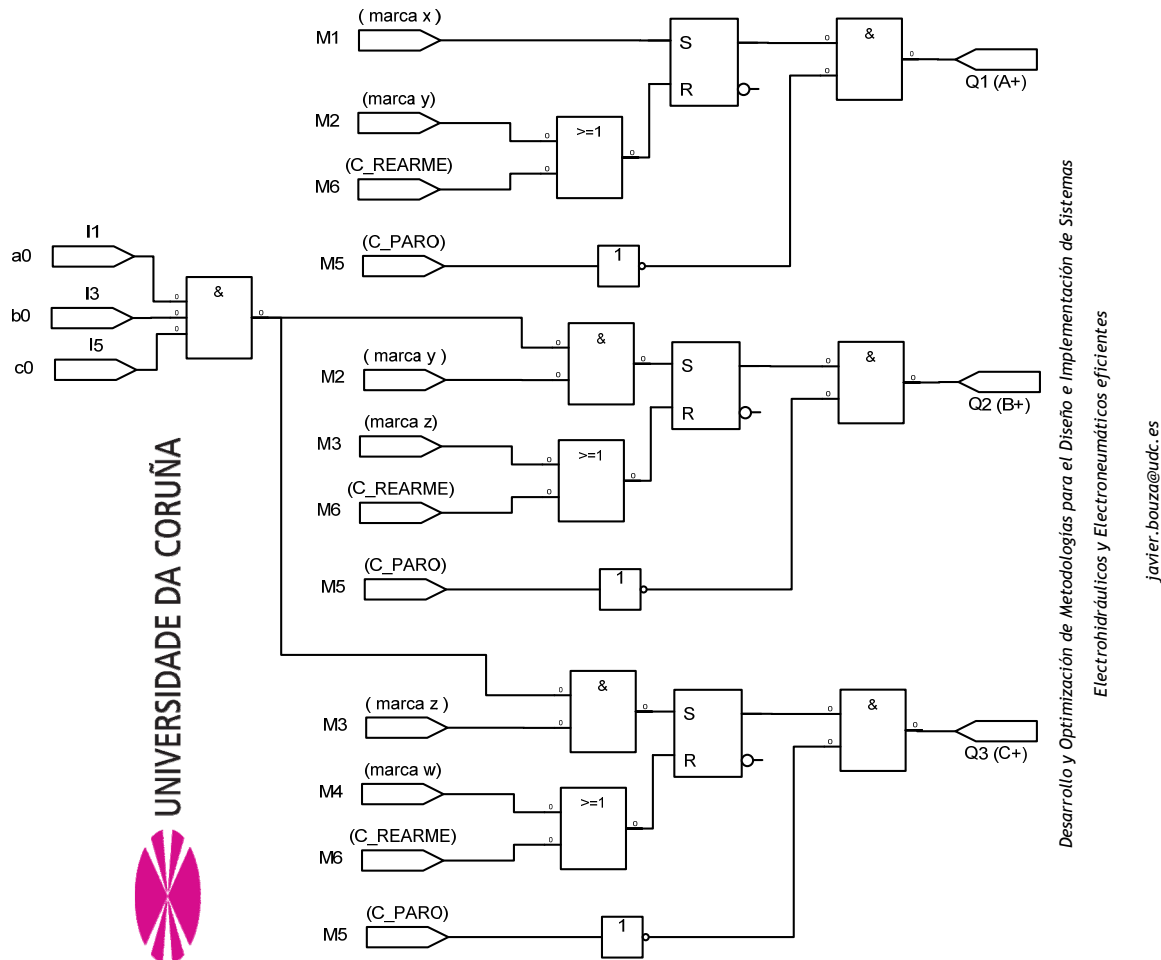


Figura 7.2.5.13.- Bloque definido de memorias auxiliares opción 2- sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Esta segunda opción, facilita el diseño, montaje y mantenimiento de las soluciones secuenciales. Además, permite una adaptación rápida en caso de que se necesite modificar el proceso con el reordenamiento de entradas y salidas.

Apoyándose en el diagrama simplificado de la solución secuencial mínima opción 2 (Figura 7.2.3.5) se presenta el siguiente FBD para el control de los distribuidores A, B y C:



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas  
 Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes  
 javier.bouza@udc.es

Figura 7.2.5.14.- FBD distribuidores de potencia - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Y utilizando los “Bloques de Función definidos”<sup>67</sup> de las soluciones combinacionales y readaptándolos a la solución secuencial, se obtiene el algoritmo de control de los distribuidores. En este caso, se emplea un Bloque “MONOESTABLE 2” y dos Bloques “MONOESTABLE 1” pero modificando la función de algunas de sus entradas y su orden de uso. Así:

<sup>67</sup>Desarrollados en el apartado 6.7 de esta Tesis.

El Bloque “MONOESTABLE 2” se emplea en el control de electroválvulas monoestables gobernadas por una orden que efectúa el cambio de grupo y ejecuta una etapa

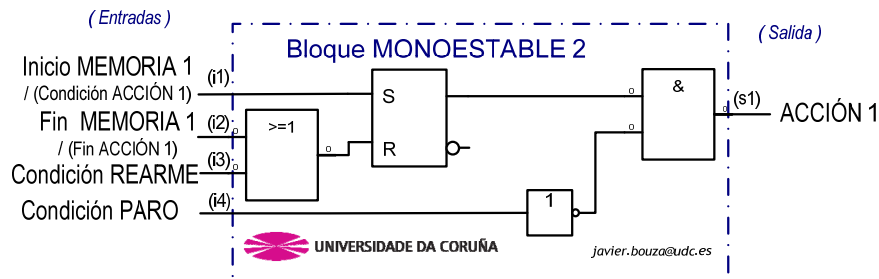


Figura 7.2.5.15.-Bloque Monoestable 2 - solución secuencial mínima.

Y el bloque “MONOESTABLE 1” se emplea en el control de electroválvulas monoestables gobernadas por una orden que ejecuta una etapa y no es responsable del cambio de grupo.

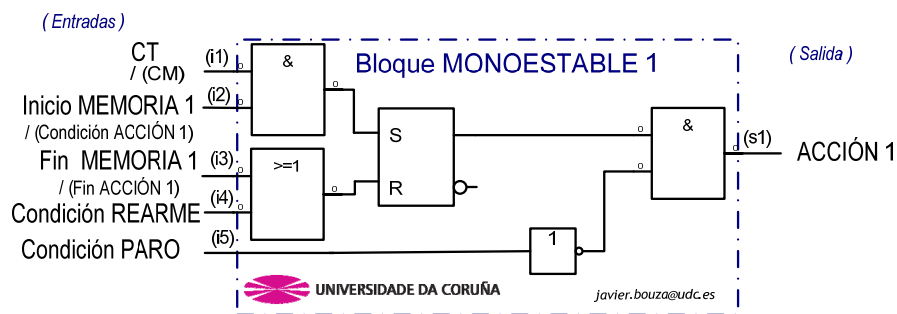


Figura 7.2.5.16.-Bloque Monoestable 1- solución secuencial mínima.

Las entradas y salidas de estos dos bloques, son:

- 1) CT = Condición de Transición.
- 2) Inicio MEMORIA 1= señal de activación de la “memoria 1”
- 3) Fin MEMORIA 1 = señal de desactivación de la “memoria 1”
- 4) Condición REARME = señal que inicia el rearme del sistema y resetea el bloque y su salida “ACCIÓN 1”.
- 5) Condición PARO = señal que inhibe la salidas “ACCIÓN 1”.
- 6) ACCIÓN 1= señal de mando para el gobierno del distribuidor de potencia.

Y queda:

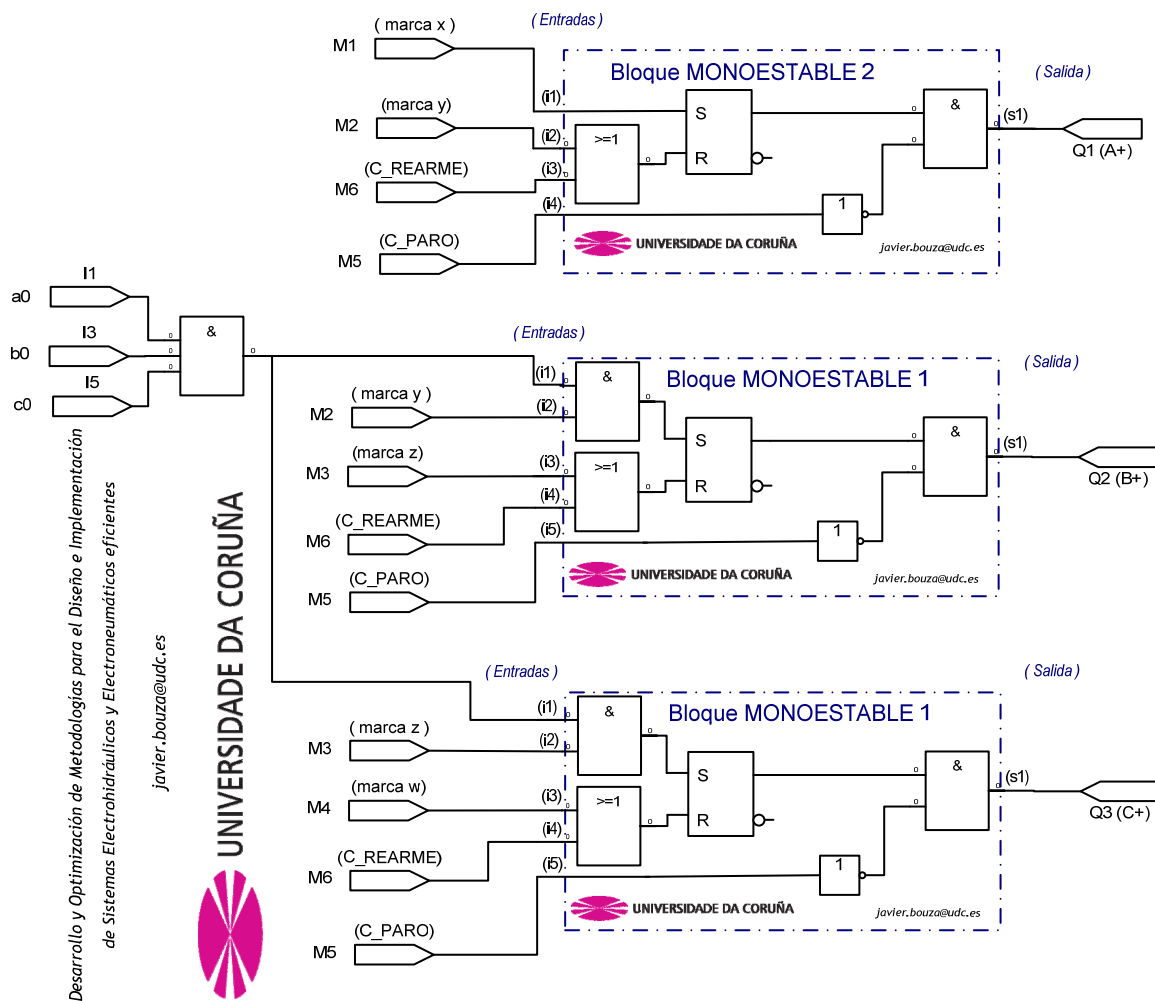


Figura 7.2.5.17.-Bloque definido distribuidores - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial mínima.

Por último, recordar que para la implementación del circuito flúidico de potencia se ha considerado el modelo “Paro con corte de energía y mantenimiento de las memorias de control” y cuyos circuitos, para este caso, se muestran al final de este capítulo (Figura 7.3.5.17 y Figura 7.3.5.18).



## 7.3 Método Secuencial máximo

### 7.3.1 Introducción

Las posibilidades de solución estudiadas hasta el momento buscan optimizar el binomio eficacia-simplicidad del mando programable de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos siguiendo siempre una metodología sistemática y sin omitir la seguridad humana y del sistema. En definitiva, se pretende que el esfuerzo mental y el tiempo empleado, en la solución eficaz y segura, sea el menor posible. Con el Sistema Secuencial Máximo que se propone, en este apartado, se pierde parte de la optimización en favor de una mayor eficiencia en el mantenimiento y en la seguridad del sistema. Esto último, no implica que no sea necesario aplicar las condiciones de seguridad de los métodos anteriores sino que *el Método Secuencial Máximo, por su propia naturaleza, potenciará aún más la seguridad del sistema e incrementará, por tanto, la fiabilidad de la máquina.*

El fundamento del Sistema Secuencial Máximo consiste en dividir la secuencia en tantos grupos como salidas de señal se dispongan. Como se ha visto, cada fase o etapa de la secuencia es provocada por una información o por una señal. La orden previa que ha sido identificada y ejecutada con éxito (por ejemplo, un cilindro debe entrar o salir) es notificada al PLC o controlador y esto provoca la siguiente orden. Pero *la configuración del sistema secuencial máximo aporta a mayores el momento en que la señal de entrada y salida deben estar operativas.* De esta forma, *“una orden que no corresponda a un momento dado en la secuencia no funcionará”.* Del mismo modo, si cualquier orden del sistema no es notificada y verificada por el controlador entonces el sistema se paraliza y no actúa.

Las características del Sistema Secuencial Máximo, son:

- i. *Divide a la secuencia en tantos grupos como etapas de la misma y dispone una memoria auxiliar para cada grupo.* Lógicamente, como sólo puede haber un grupo activado al mismo tiempo, esto garantiza una única salida y la inexistencia de problemas de señales permanentes sobre los distribuidores de potencia empleados

- ii. En él *cada grupo y, por tanto, cada etapa depende siempre del precedente además de los acontecimientos o prescripciones*. De esta forma, las salidas dependen de las entradas en dicho instante y de la historia pasada de las entradas.
- iii. Se definen *las condiciones de transición* de cada etapa como “los acuses” de que las acciones de las salidas han sido correctamente realizadas.
- iv. Su característica de ejecución es que el *sistema progresa “etapa a etapa”*. Sólo será posible el cambio de grupo si el grupo anterior y su condición de transición están activadas, es decir, que se han cumplido correctamente.
- v. *Se caracteriza por su sistematización y seguridad a la hora de proyectar*: la estructura del algoritmo se asienta sobre bloques que contienen siempre el mismo concepto lógico. Esto facilita de manera ostensible “el camino de la solución” aunque sea algo más largo que el generado por los métodos anteriormente estudiados.

### 7.3.2 Solución con las entradas que confirman la fase

De manera análoga al sistema secuencial mínimo, se estudia en este apartado el algoritmo de funcionamiento de la secuencia de los tres actuadores que practican un ciclo completo cada uno en una sucesión ordenada.

Se inicia con el Diagrama desplazamiento-fase y de mando para las entradas que confirma cada fase. Luego, *se divide la secuencia en tantos grupos como etapas presenta y se dispone una memoria auxiliar para cada grupo*. Lógicamente, como sólo puede haber un grupo activado al mismo tiempo, esto garantiza una única salida y la inexistencia de problemas de señales permanentes. Se emplean en total de seis memorias secuenciales entre sí (“u”, “v”, “w”, “x”, “y” y “z”) que registran cada una de las etapas de la secuencia. Esto permite implementar una *solución que asegure*:

- i. Que la secuencia solo puede iniciar una etapa cuando han acontecido las precedentes.
- ii. Que cualquier orden de mando no será operativa hasta encontrarse en su etapa de ejecución.
- iii. De los puntos i y ii: que durante el proceso de evolución de la secuencia la condición de marcha no se activará hasta que finalice el proceso o el sistema esté en condiciones iniciales.

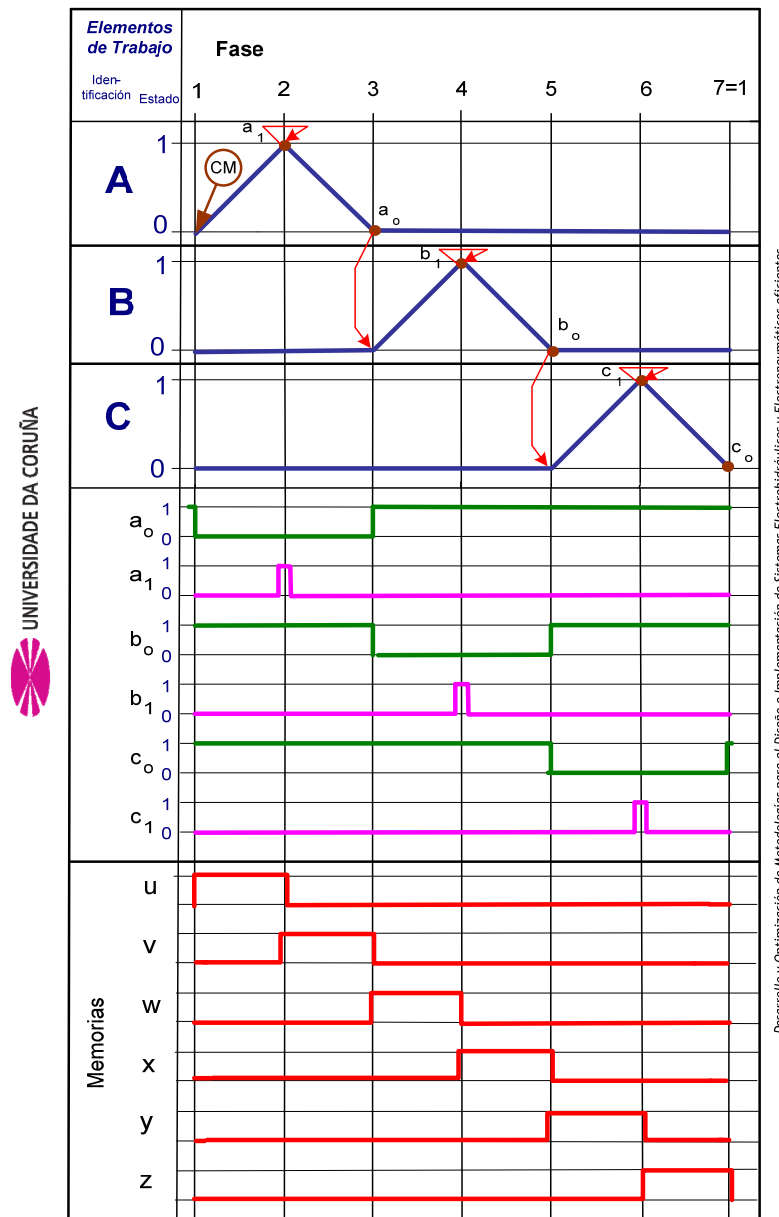


Figura 7.3.2.1.- Diagrama espacio-fase y de mando de la sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución Secuencial máxima.

Otra forma de crear los grupos es realizar la representación en texto simplificada de la secuencia y dividirla en tantos grupos como etapas. Así, haciendo la división en grupos y trazando líneas divisorias:

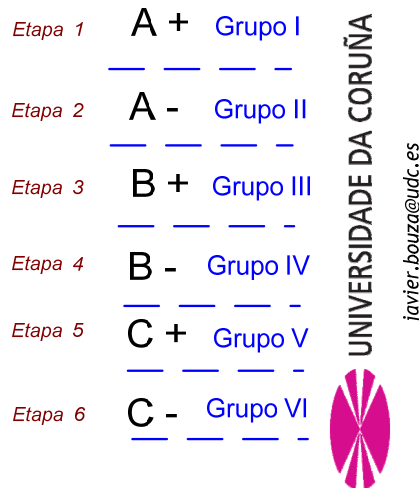


Figura 7.3.2.2.- División en grupos de la representación en texto (secuencial máximo).

Una vez realizados los grupos, se les asignan las condiciones de transición.

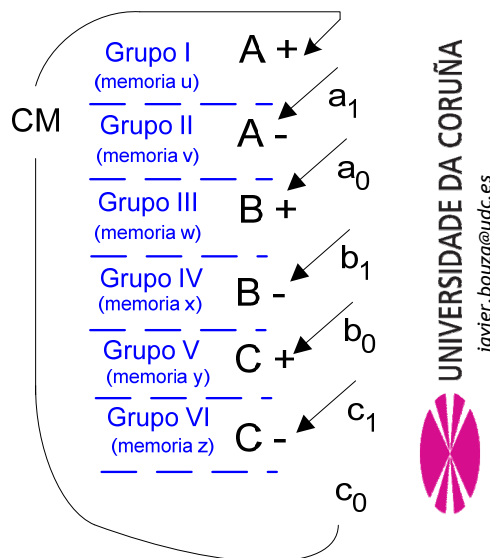


Figura 7.3.2.3.- Representación en texto del sistema secuencial máximo.

Como se muestra, se le asigna una memoria auxiliar biestable RS a cada uno de los seis grupos. Estas memorias son “u”, “v”, “w”, “x”, “y” y “z” que son secuenciales entre sí y se activan y desactivan previamente a las órdenes de mando. Además, se definen las condiciones de transición de cada etapa que son “los acuses” de que las acciones de las salidas han sido correctamente realizadas. De esta forma sólo será posible el cambio de grupo si el grupo anterior y su condición de transición están activados, es decir, que se han cumplido correctamente. Todo esto, hace que la secuencia se desarrolle por etapas en correspondencia con el Diagrama Espacio-fase y que disponga de una “historia” o registro de la evolución de la secuencia. Y, en consecuencia, *la transición entre dos etapas será “bievaluada” y dependerá de las entradas en dichos instante y de la historia pasada de las entradas.*

*Esta estructura lógica, “etapa” a “etapa”, del Sistema Secuencial Máximo aporta una “seguridad en el orden de los movimientos” y aumenta la fiabilidad del desarrollo implementado.* De esta forma, cualquier accionamiento erróneo de los emisores de señal no provoca conmutaciones falsas en el mando. Se podría afirmar que las diferentes etapas de la secuencia, con el Método Secuencial Máximo, están inmunizadas contra influencias adversas que pudieran producirse.

A continuación, se implementa el algoritmo de funcionamiento sobre un circuito neumático con electroválvulas 5/2 monoestables servopilotadas. Para la experimentación, se añade una señal de Rearme que permite situar a la secuencia en condiciones iniciales, por ejemplo, en la puesta en marcha o en caso de avería. Posteriormente, y siguiendo el procedimiento definido en el Capítulo IV, se estudiará el segundo bloque de la Síntesis y, en consecuencia, como implementar las condiciones de operatividad y seguridad sin perder la visión total del funcionamiento del sistema.

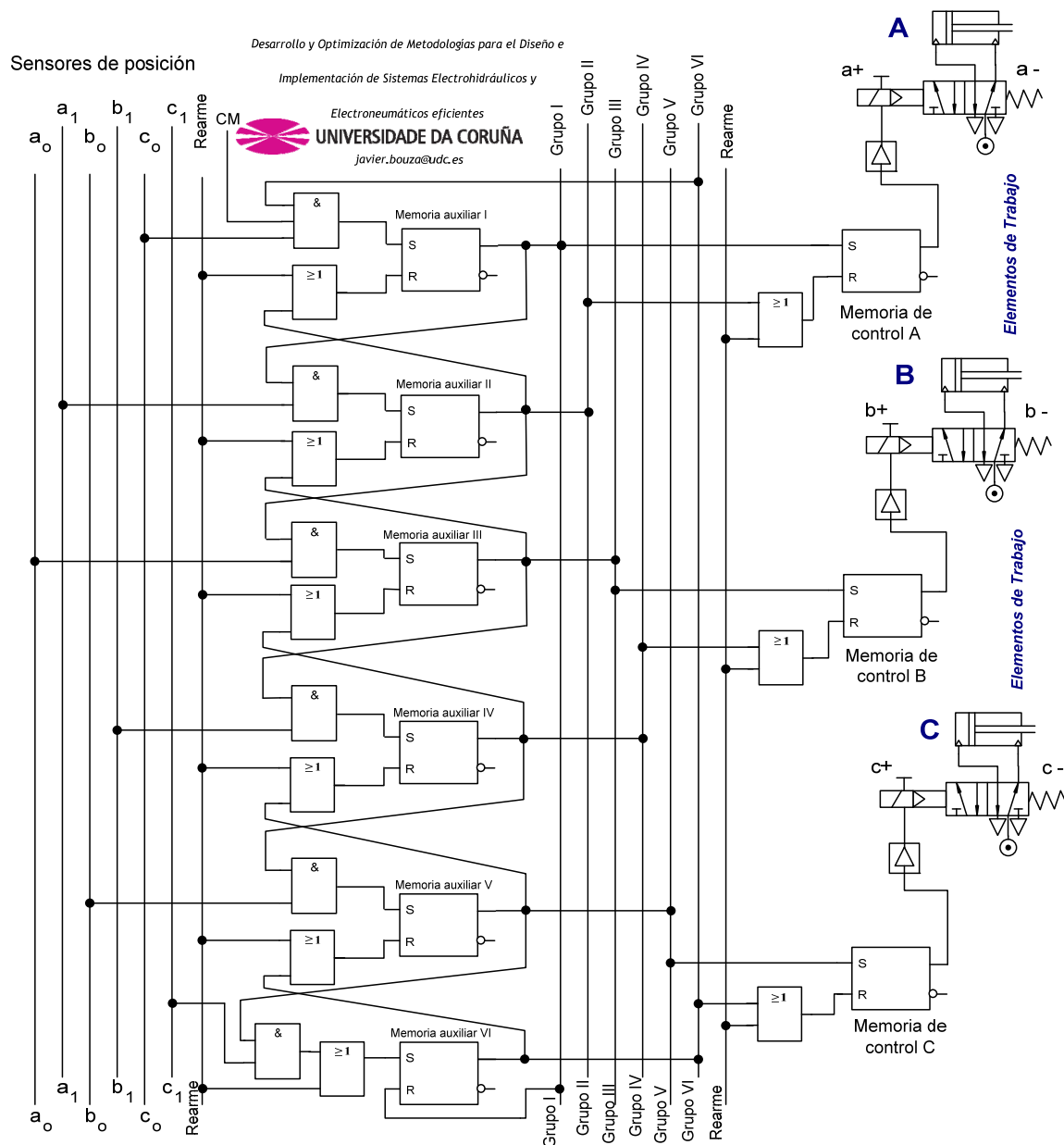


Figura 7.3.2.4.- Solución secuencial máxima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 opción 1

Si indicar que en esta primera solución funcional, la secuencia una vez iniciada evolucionará hasta alcanzar la etapa 6 quedando la última memoria como activada (por tanto, en el estado reposo, la memoria “w” permanece activada). Se propone una segunda opción que anula la memoria “w” al finalizar correctamente la secuencia y que completa la orden inicial de marcha con el

estado inicial de todos los actuadores y con la verificación de que las etapas posteriores están desactivadas. De esta forma, el *sistema secuencial máximo preserva que durante el proceso de evolución de la secuencia no pueda ser activada otra orden de condición de marcha hasta que finalice el proceso correctamente.*

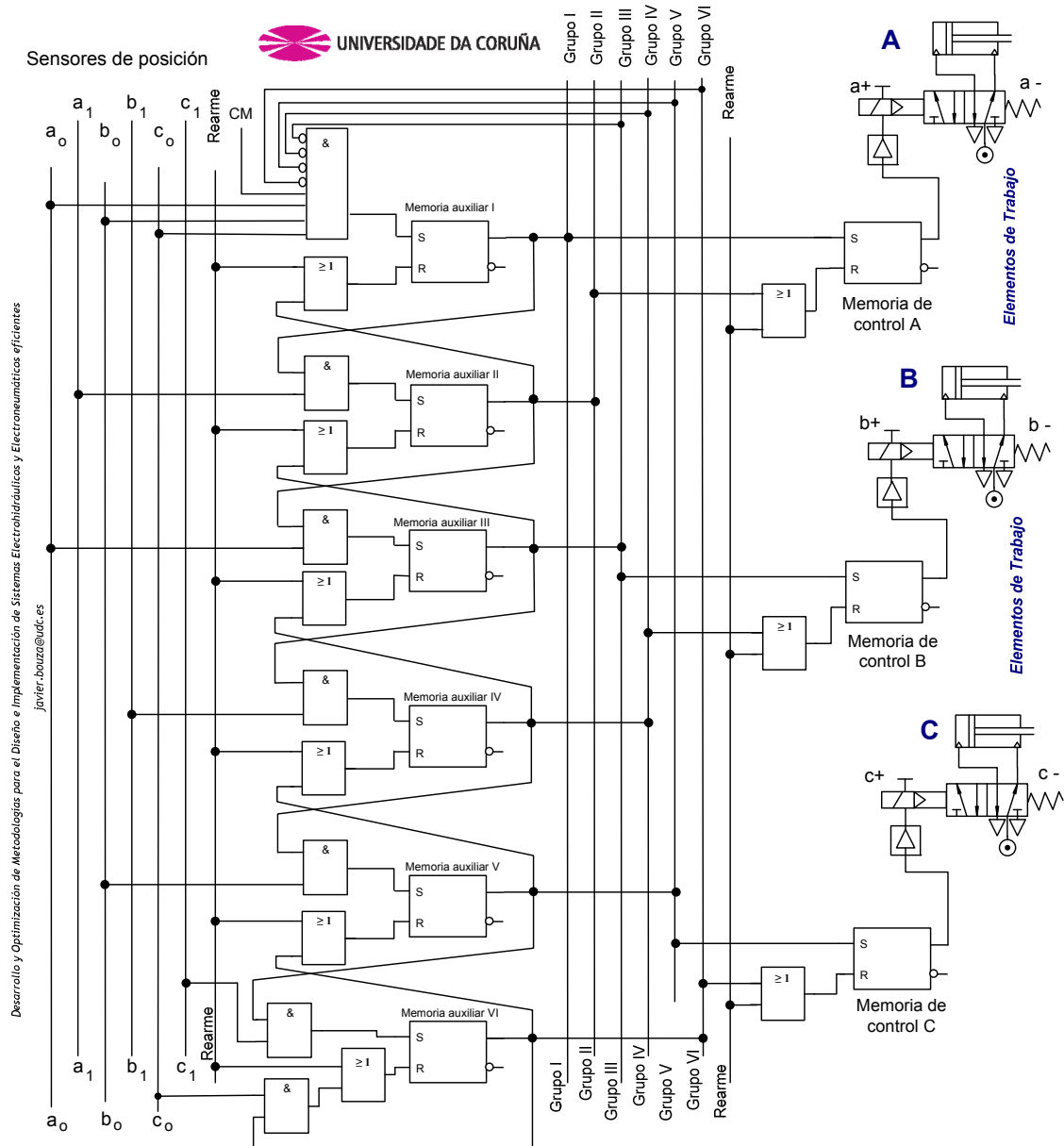


Figura 7.3.2.5.- Solución secuencial máxima neumática de sec. A+ A- B+ B- C+ C- con electroválvulas monoestables 5/2 opción 2

A continuación, se indican unas normas para la aplicación del Método Secuencial Máximo:

1. Representar el diagrama espacio-fase y de mando para las entradas que confirman la fase. Y tener en cuenta que tanto el Método Secuencial Mínimo como los métodos combinacionales estudiados, en esta Tesis, permiten obtener una solución más optimizada en su algoritmo. Estos métodos pueden ser los más adecuados para la resolución de los problemas menos complejos y, también, cuando las capacidades del controlador de mando programable son limitadas (p. ej. los denominados “relés programables”). Si bien, independientemente de la opción escogida esta garantizada la seguridad del diseño, con el sistema secuencial máximo se lleva a su máxima expresión.
2. Dividir la secuencia en tantos grupos como etapas contenga la secuencia. Esto se puede realizar:
  - a. sobre el análisis del Diagrama espacio-fase y sus entradas que confirman la ejecución de fase,
  - b. o bien, a través de la representación en texto simplificada de la secuencia y detallando las condiciones de transición de etapa.
3. Se asigna una memoria auxiliar biestable RS a cada grupo (y estas son consecutivas y no se cruzan entre sí).
4. No se combina el primer y el último grupo. De esta forma, se garantiza que sólo se puede iniciar un nuevo ciclo cuando la secuencia finalice correctamente.
5. Para preservar que durante la evolución de la secuencia no se active otra orden de condición de marcha hasta que finalice el proceso (p. ej. por error del operador) se introduce, en la definición de activación de la primera memoria, el estado inicial de los actuadores y la verificación de la desactivación de las memorias auxiliares empleadas



(la segunda memoria no será necesaria introducirla puesto que desactiva, por defecto, la primera memoria).

- Se aplica el Procedimiento predefinido de las Memorias de Control, expuesto en esta Tesis: se utilizan tantas memorias biestables RS asíncronas como accionamientos electromagnéticos dispongan los distribuidores empleados con objeto de que memoricen sus órdenes y sus efectos.

### 7.3.3 Solución con las entradas presentes al iniciarse la fase

La solución secuencial máxima, con entradas presentes al iniciarse la fase, es una consecuencia directa y específica del método combinacional III en la situación en la que el número de memorias auxiliares empleadas coincide con el de etapas. Al igual que en susodicho método, se inicia el estudio con el diagrama desplazamiento-fase simplificado y se divide la secuencia en tantos grupos como etapas contenga la secuencia. De esta forma, se garantiza que en las distintas agrupaciones no existan órdenes de mando idénticas.

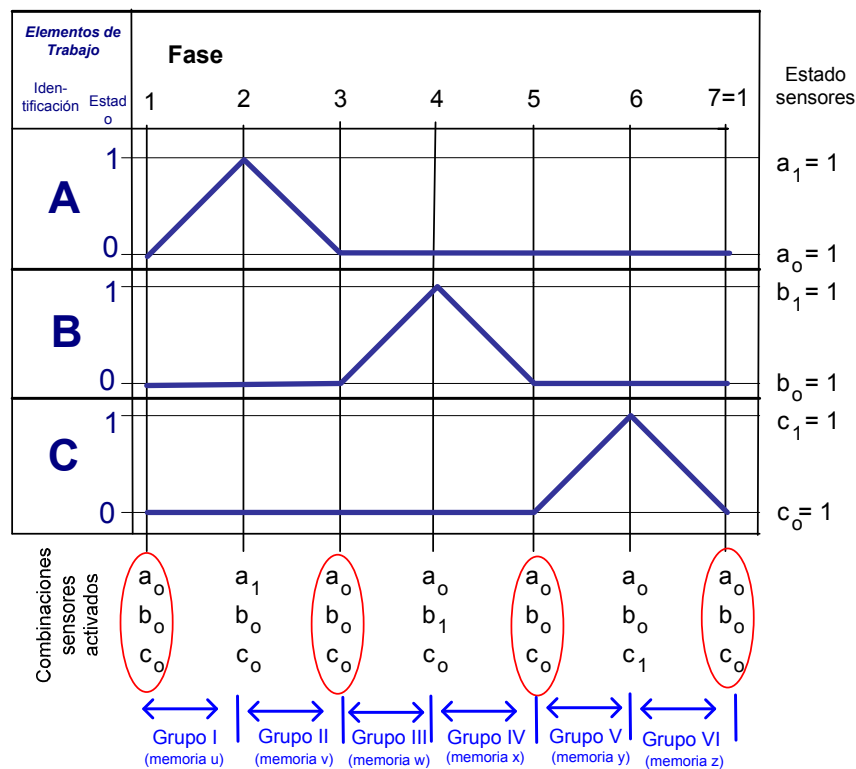


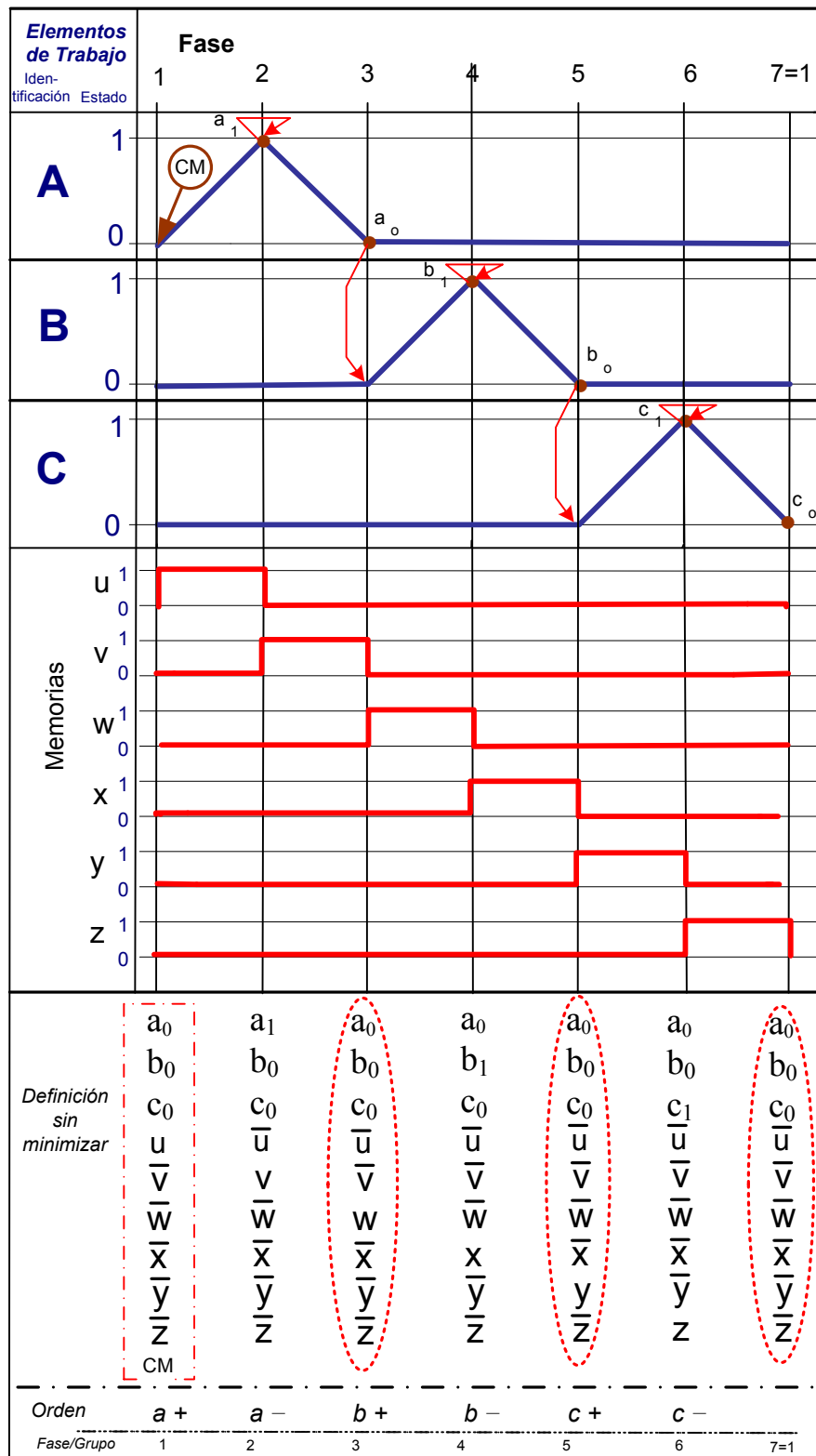
Figura 7.3.3.1.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C-

En total, al existir 6 etapas se crean 6 grupos con sus memorias biestables RS identificativas. De esta forma:

- i. Se evitan las señales permanentes puesto que cada grupo sólo contiene acciones no antagónicas y sólo podrá haber un grupo activo al mismo tiempo.
- ii. Las órdenes de mando de las fases primera, tercera y quinta se encuentran, lógicamente, en grupos distintos y, en consecuencia, diferencian su semejanza con sus respectivas memorias.
- iii. Y los grupos formados por las fases primera y sexta no se combinan y de esta forma se garantiza que sólo se pueda iniciar un nuevo ciclo cuando la secuencia finalice correctamente.

Por tanto, las órdenes quedan identificadas no sólo por las combinaciones de los sensores activados sino también por la etapa en la que se produce a través de las memorias auxiliares. Esto permite al Subsistema de control cotejar la orden de mando con el momento en el que se debe ejecutar. Y en definitiva, en la solución secuencial máxima: *las salidas en cualquier instante dependen de las entradas en dicho instante y de la historia pasada de las entradas, lo que aumenta de manera ostensible la seguridad implícita del diseño.*

En los siguientes diagramas simplificados se presentan: la solución secuencial máxima sin minimizar y una primera propuesta de solución minimizada. En estas soluciones, se aprecia que la definición de las órdenes de mando es extensa. Esto repercute, tanto en el tiempo empleado en la codificación del programa como en su posterior interpretación en las labores de verificación y mantenimiento. En este sentido, un proceder metodológico así como una documentación adecuada (como se relata en Capítulo IV) permiten que el programa sea perfectamente inteligible para el personal técnico, ahorrando tiempo y costes.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouze@udc.es

Figura 7.3.3.2.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima sin minimizar.

A continuación, se presenta la primera propuesta de solución minimizada:

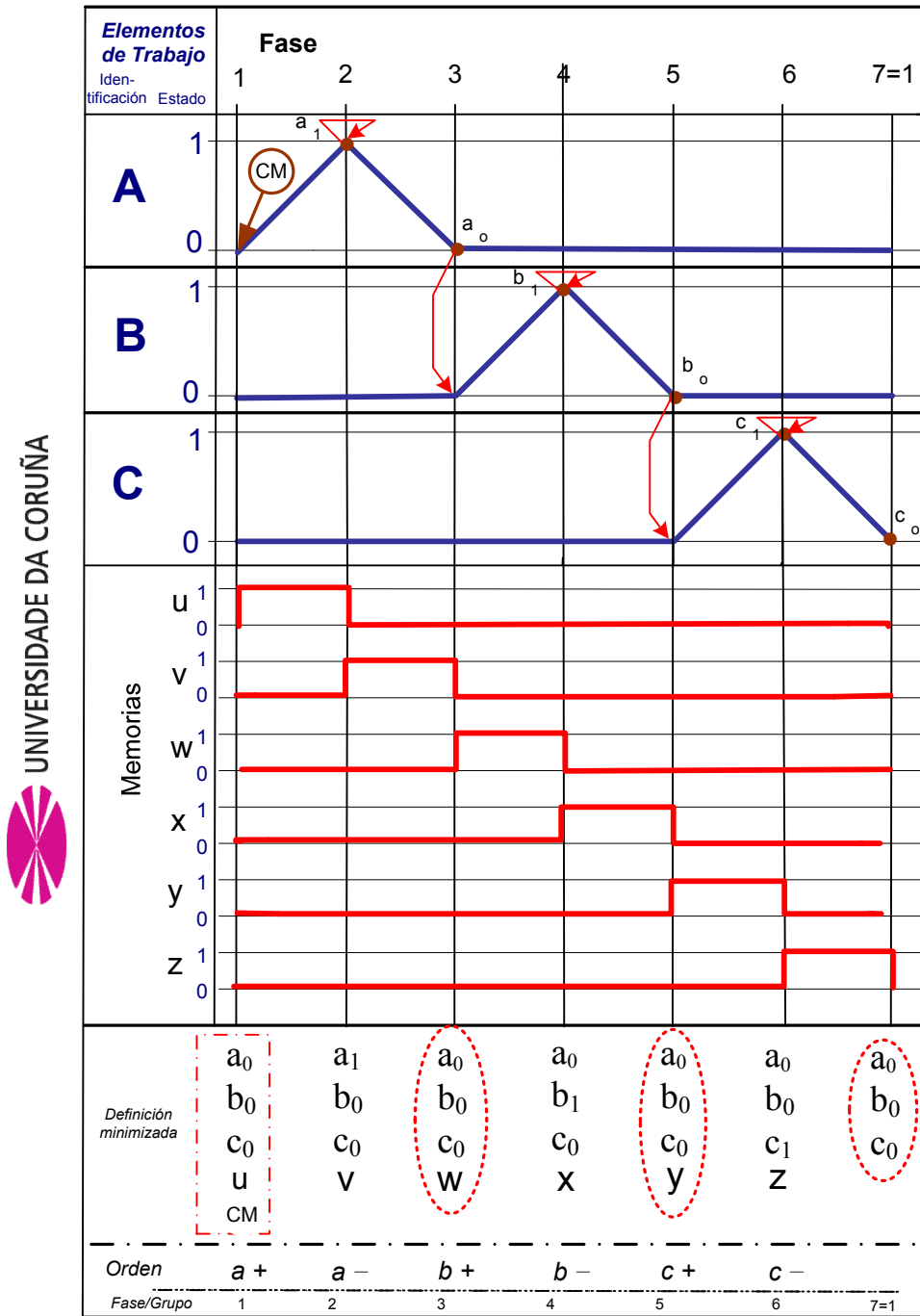
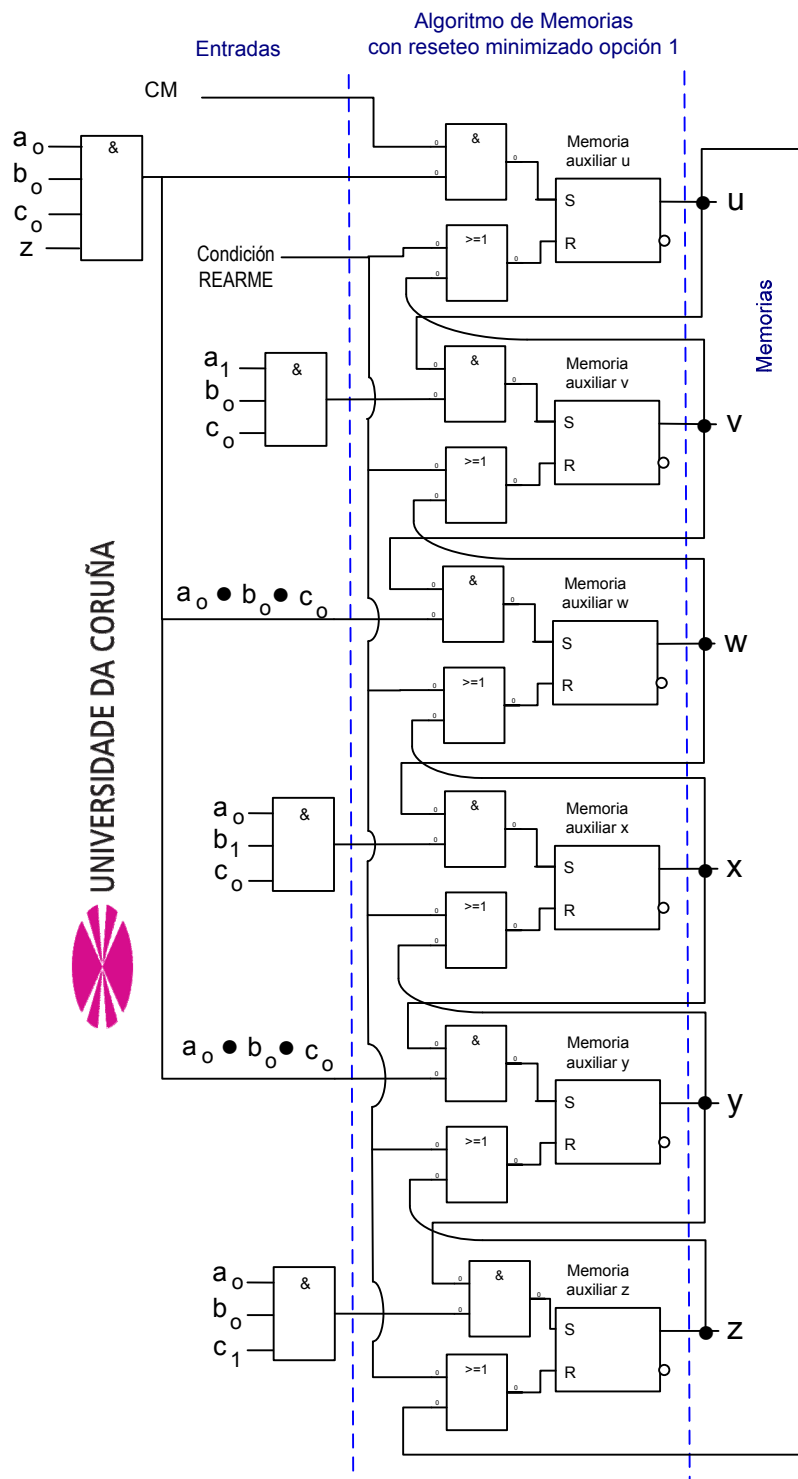


Figura 7.3.3.3.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 1

Y la definición de las memorias auxiliares, en lenguaje FBD:



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouze@udc.es

Figura 7.3.3.4.- FBD de memorias de la sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 1

La secuencia una vez iniciada evolucionará hasta alcanzar la etapa 6 quedando la última memoria como activada (“z” permanece activada en el estado reposo). De este algoritmo para las memorias, se induce una segunda solución minimizada que facilita de manera notable su implementación.

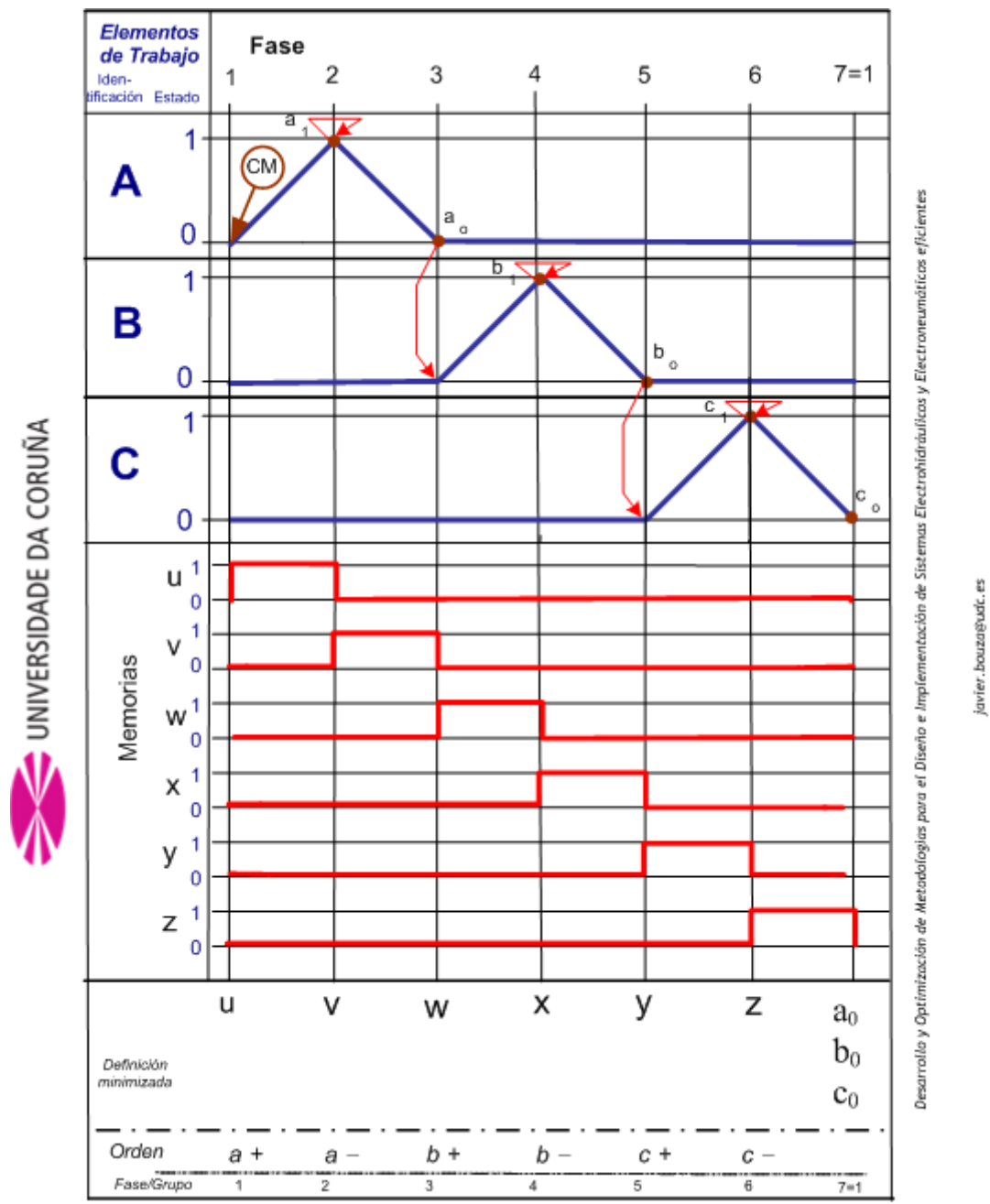
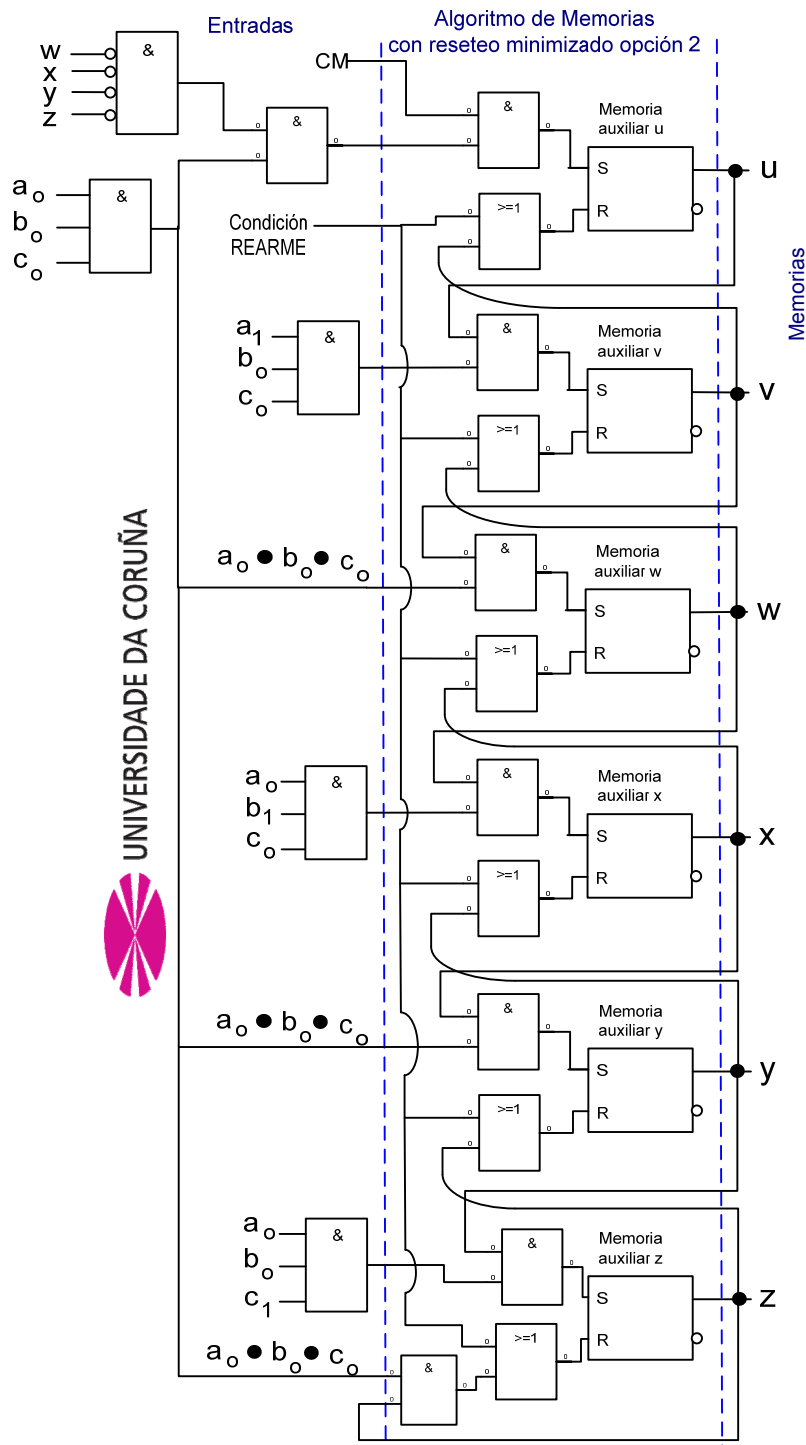


Figura 7.3.3.5.- Diagrama simplificado sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 2

Para completar esta solución minimizada se propone modificar el algoritmo de las memorias para que se anule la memoria “z” al finalizar correctamente la secuencia. Y, por tanto, la nueva definición de las memorias será:



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.3.3.6.- FBD de memorias de la sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima opción 2

De esta forma, el sistema secuencial máximo preserva que durante el proceso de evolución de la secuencia no pueda ser activada otra orden de condición de marcha hasta que finalice el proceso correctamente.

7.3.4 Resumen del Método Secuencial Máximo.

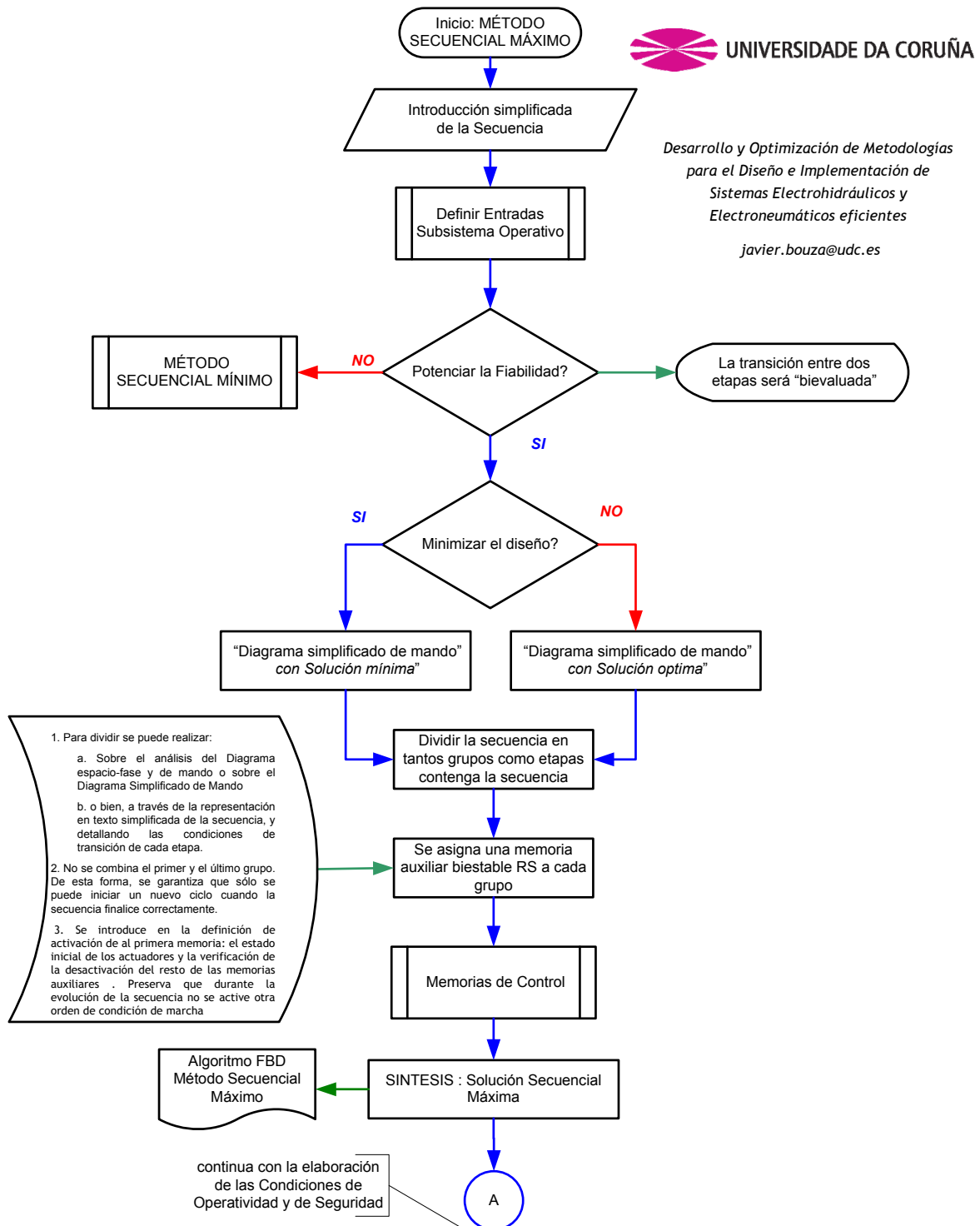


Figura 7.3.4.- Flujoograma del Método Secuencial Máximo



### 7.3.5 Implementación de las condiciones de operatividad y de seguridad

En el anterior apartado, se ha trabajado el primer bloque de la síntesis que desarrolla una primera solución con un único modo de operación genérico denominado “CM” o condición de marcha. Se le ha añadido, a mayores, una condición de Rearme provisional para su experimentación y evaluación. Ahora, se trabaja el segundo bloque que define y confecciona las condiciones de servicio y de seguridad del sistema sobre el primero. Esta forma de proceder, permite implementar estos aspectos sin perder la visión total del funcionamiento del proceso.

Primeramente, identificamos y definimos las variables del algoritmo de control, que son:

Tabla 7.3.5.1.- Entradas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

| <i>Entrada</i> | <i>Designación</i> | <i>Observación</i>  |
|----------------|--------------------|---|
| I1             | $a_0$              | Sensor reed (NA) <sup>68</sup>  |
| I2             | $a_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I3             | $b_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I4             | $b_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I5             | $c_0$              | Sensor reed (NA)  |
| I6             | $c_1$              | Sensor reed (NA)  |
| I7             | CM                 | Pulsador de Marcha (NA)   |
| I8             | PARO               | Interruptor de Paro (NC) <sup>69</sup>  |
| I9             | REARME             | Pulsador de Rearme (NA)   |
| I10            | PRESENCIA          | Condición de seguridad (NC). Detecta presencia humana en zona operativa de la máquina |

<sup>68</sup> NA = normalmente abierto

<sup>69</sup> NC = normalmente cerrado

Tabla 7.3.5.2.- Salidas sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

| <b>Salida</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>                            |
|---------------|--------------------|---|
| Q1            | a +                | Actuación A +/ (Actuación A – desactivada Q1) |
| Q2            | b+                 | Actuación B +/ (Actuación B – desactivada Q2) |
| Q3            | c+                 | Actuación C+ / (Actuación C – desactivada Q3) |
| Q4            | Energía Fluídica   | Activa / desactiva energía fluídica           |

Tabla 7.3.5.3.- Memorias sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

| <b>Memoria</b> | <b>Designación</b> | <b>Observación</b>             |
|----------------|--------------------|--------------------------------|
| M1             | marca u            | Memoria auxiliar U (Grupo I)   |
| M2             | marca v            | Memoria auxiliar V (Grupo II)  |
| M3             | marca w            | Memoria auxiliar W (Grupo III) |
| M4             | marca x            | Memoria auxiliar X (Grupo IV)  |
| M5             | marca y            | Memoria auxiliar Y (Grupo IV)  |
| M6             | marca z            | Memoria auxiliar Z (Grupo IV)  |
| M7             | C_PARO             | Condición de Paro              |
| M8             | C_REARME           | Condición de Rearme            |

A continuación, se desglosa el programa de control en diferentes módulos y se contrasta la solución estándar mediante lenguaje FBD con la propuesta de Bloques de Función definidos en esta Tesis.

Primeramente la función de Paro

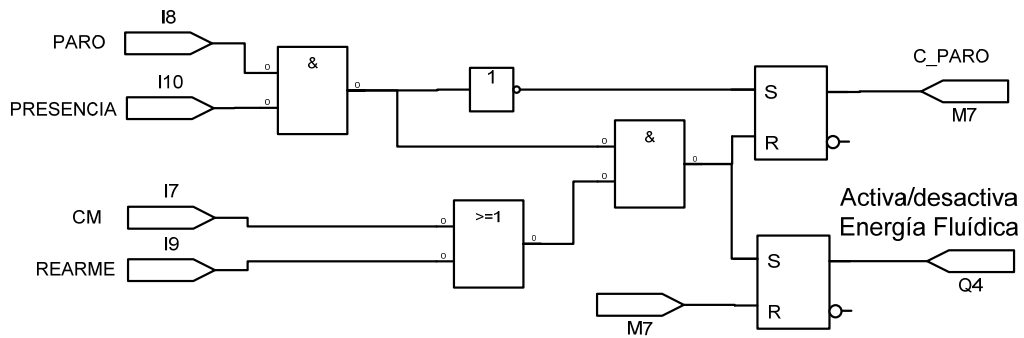


Figura 7.3.5.1.- FBD Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Se emplea un bloque “PARO 2”

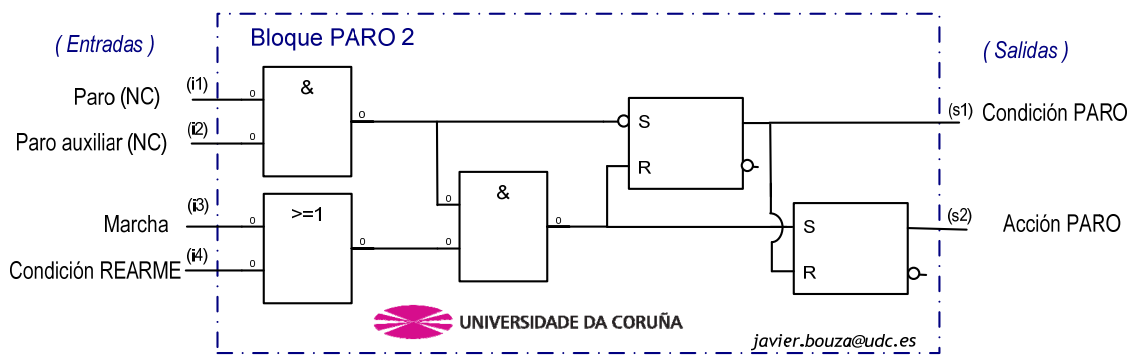


Figura 7.3.5.2.- Bloque Paro 3 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Y se sustituye:

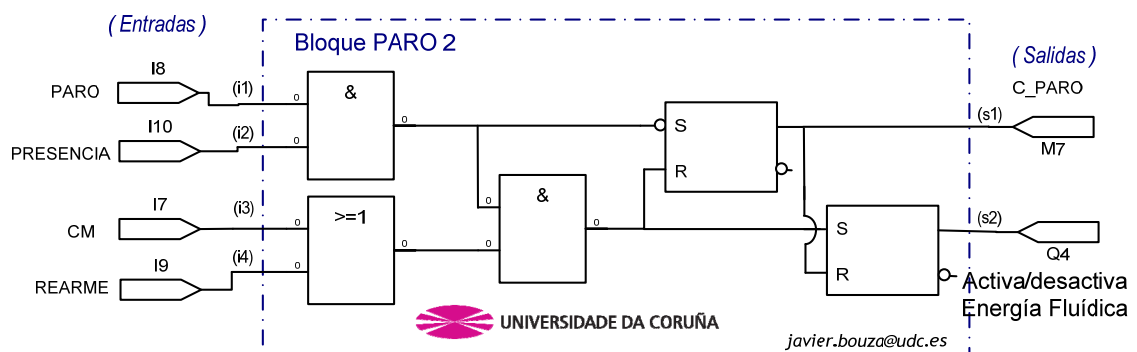


Figura 7.3.5.3.-Bloque definido de Paro - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Ahora la función de Rearme

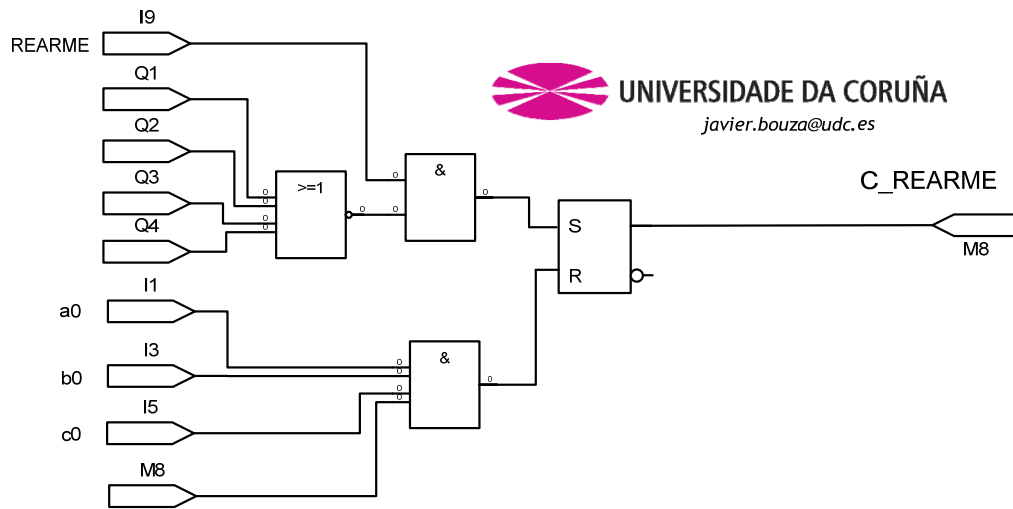


Figura 7.3.5.4.- FBD Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Se emplea un bloque "REARME"

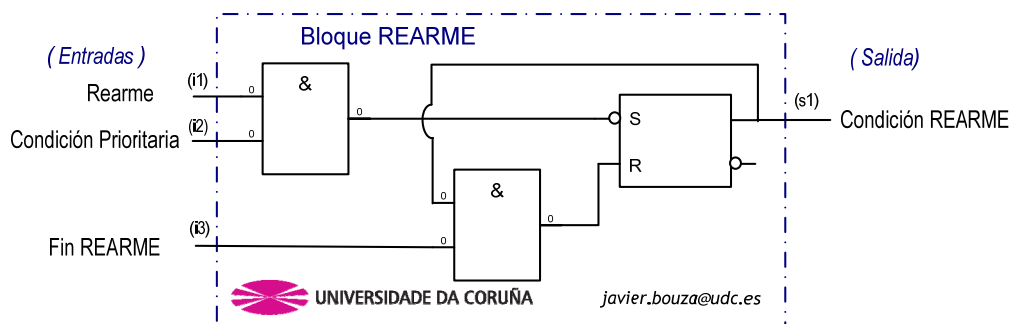


Figura 7.3.5.5.- Bloque Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Y queda:

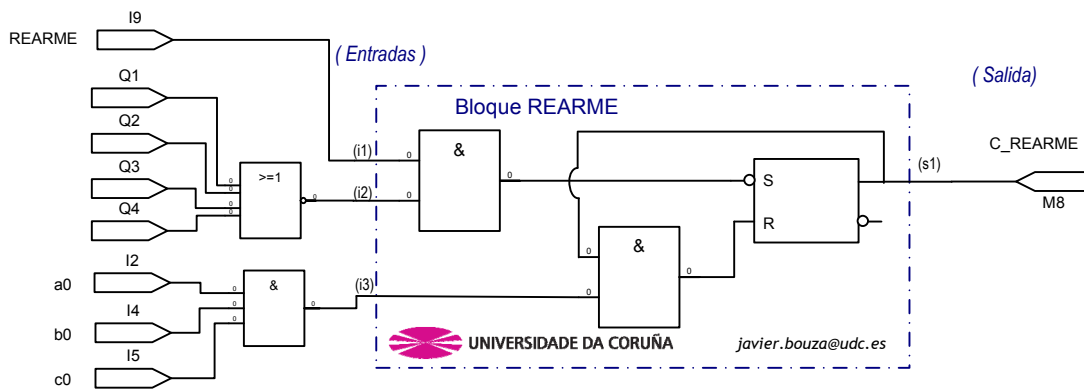
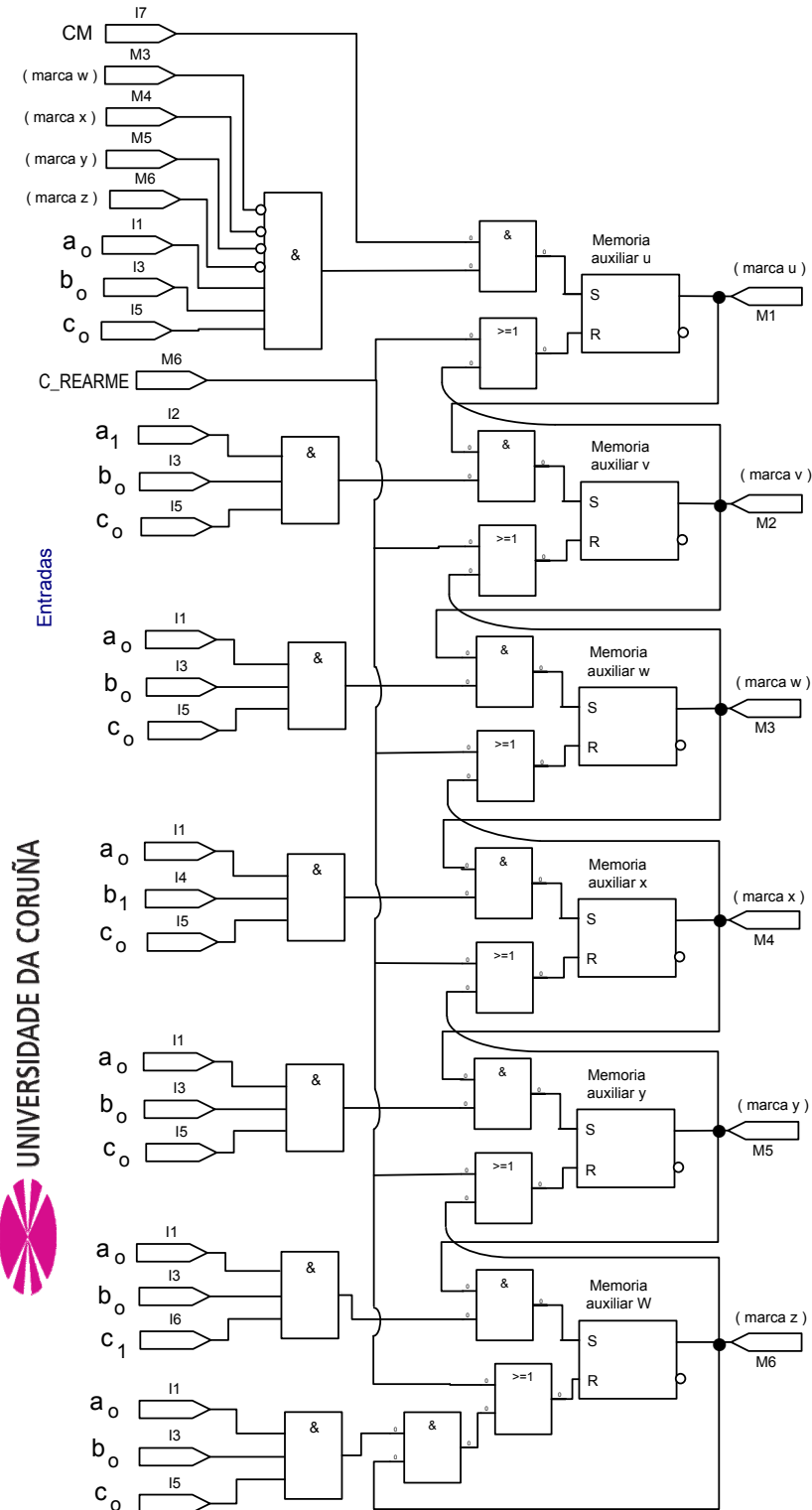


Figura 7.3.5.6.- Bloque definido de Rearme - sec. A+ A- B+ B- C+ C- sol. secuencial máxima.

En cuanto a la definición de las memorias auxiliares, primeramente, mostramos la solución FBD:



Entradas

Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.3.5.7.- FBD memorias auxiliares - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Para la solución por Bloques definidos se han utilizado las dos opciones empleadas en la solución Secuencial Mínima. La primera, concatenando tres tipos de bloques de función definidos. Así, en la etapa inicial de la secuencia, se emplea el “CADENA 1”.

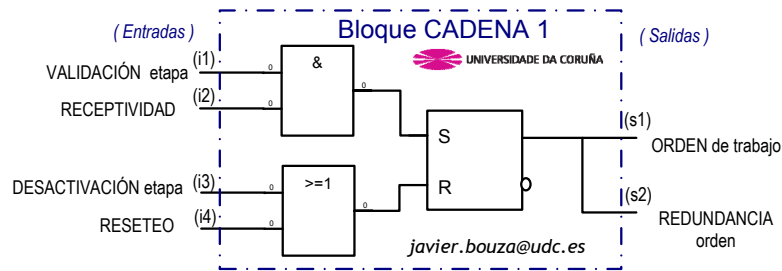


Figura 7.3.5.8.- Bloque CADENA1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

En los pasos comprendidos entre la primera y última etapa final, se usa el “CADENA 2”.

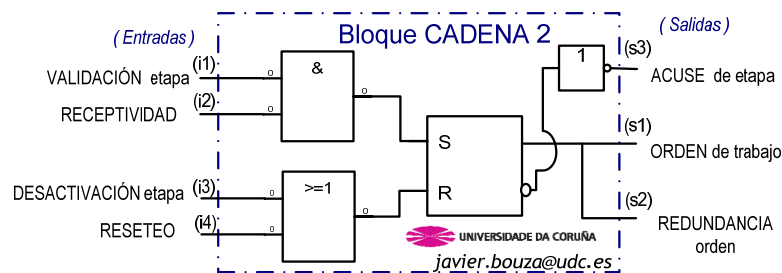


Figura 7.3.5.9.- Bloque CADENA2 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Y, el tercer bloque, se utiliza “CADENA 3” en la etapa final de la secuencia.

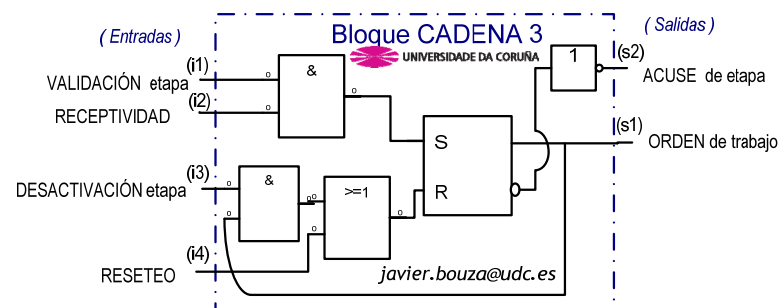
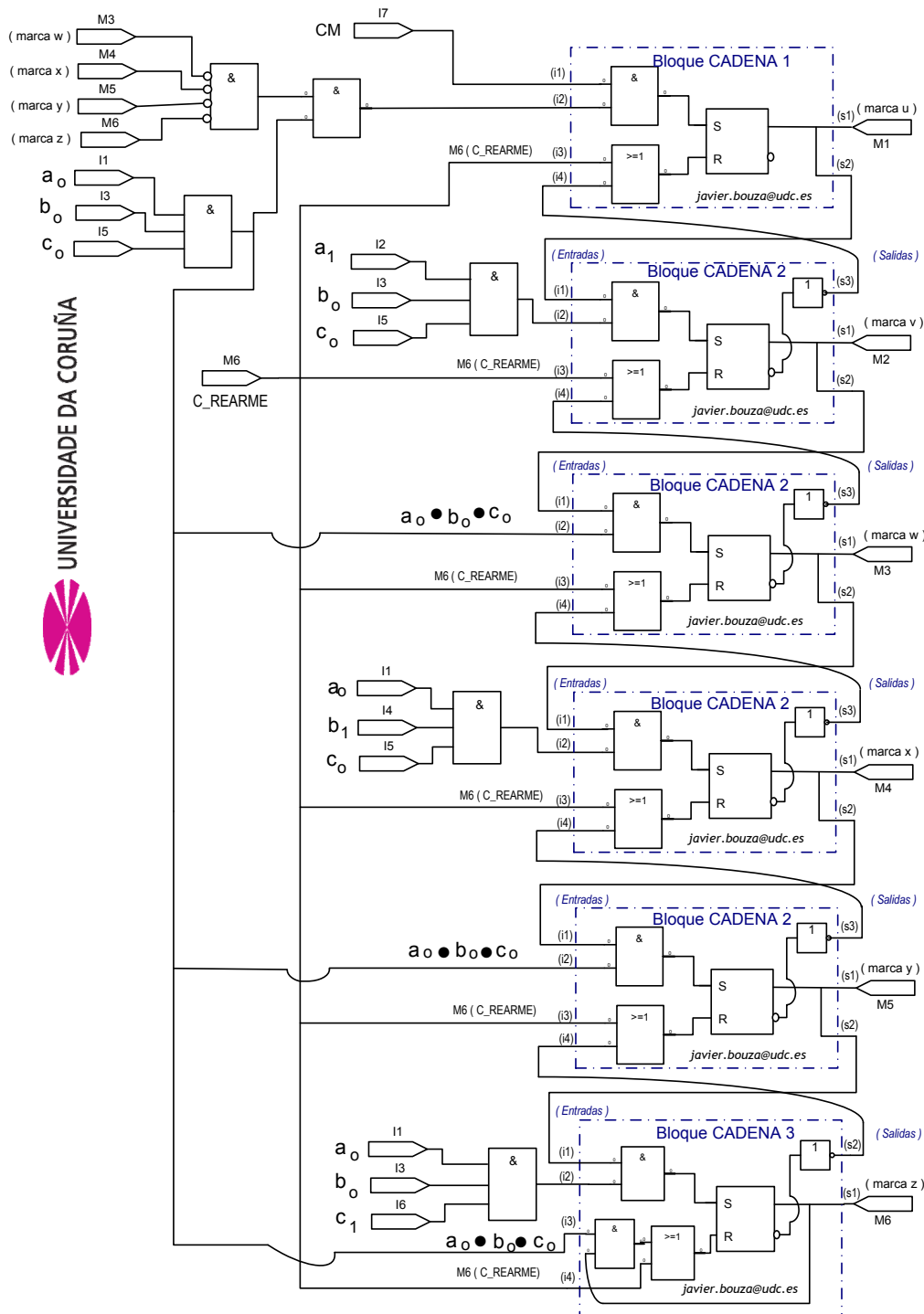


Figura 7.3.5.10.- Bloque CADENA3 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

La primera solución con Bloques definidos para las memorias auxiliares:



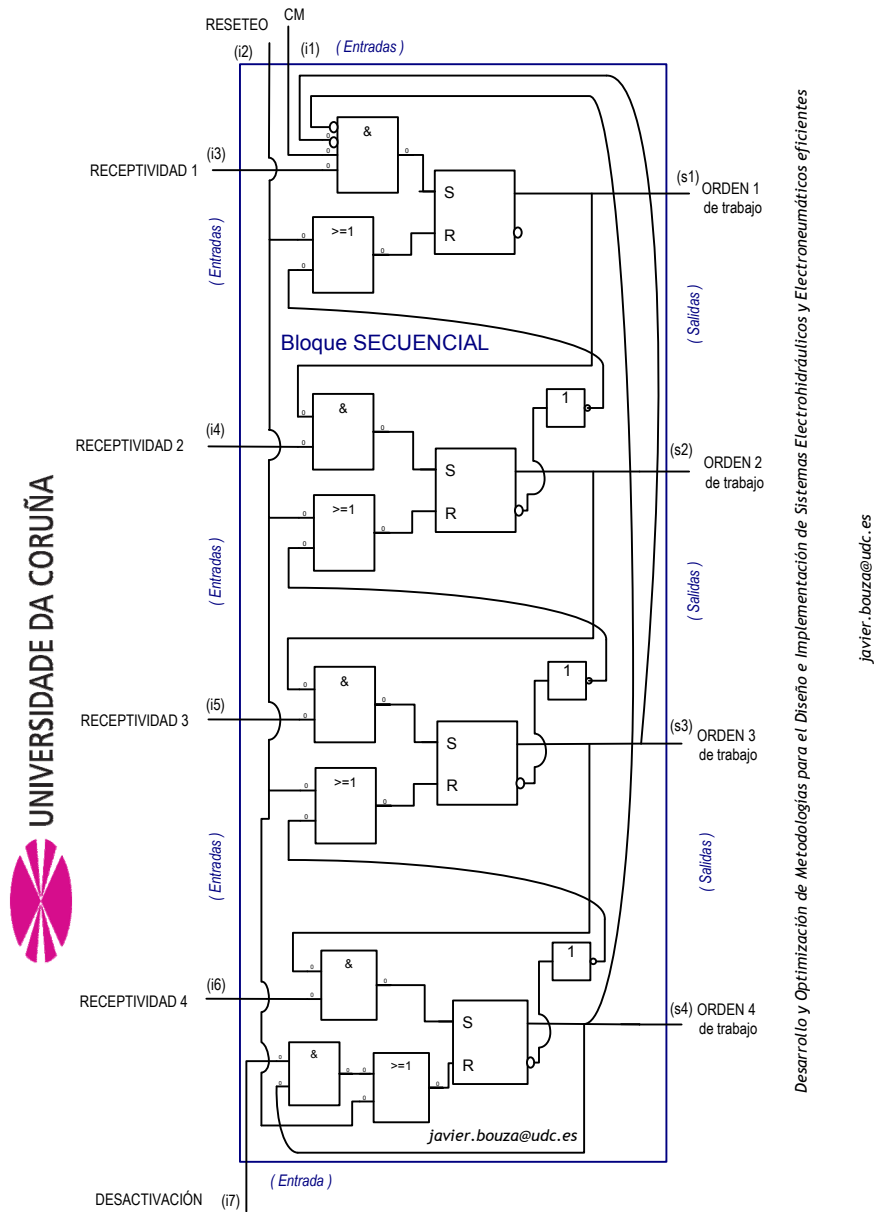
Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.3.5.11.- Bloque definido de memorias auxiliares opción 1 - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

La segunda solución, consiste conjugar los módulos anteriores en un sólo bloque denominado “Secuencial”. De esta forma, se simplifica el número de

conexiones a realizar y se aumenta la seguridad en la conmutación, al ser un único bloque el que emite y supervisa las señales.



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes  
 javier.bouza@udc.es

Figura 7.3.5.12.- Bloque Secuencial - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

En esta secuencia harán falta 2 bloques “Secuencial” para cubrir las seis etapas. Para ello, y como se muestra en la siguiente figura, se entrelazan los dos bloques y se puenta un paso en cada uno de ellos. Además se verifica, en la entrada “i3” del primer bloque, si el segundo bloque tiene todas las marcas desactivadas con objeto de evitar que la CM no se active durante la evolución de la secuencia.



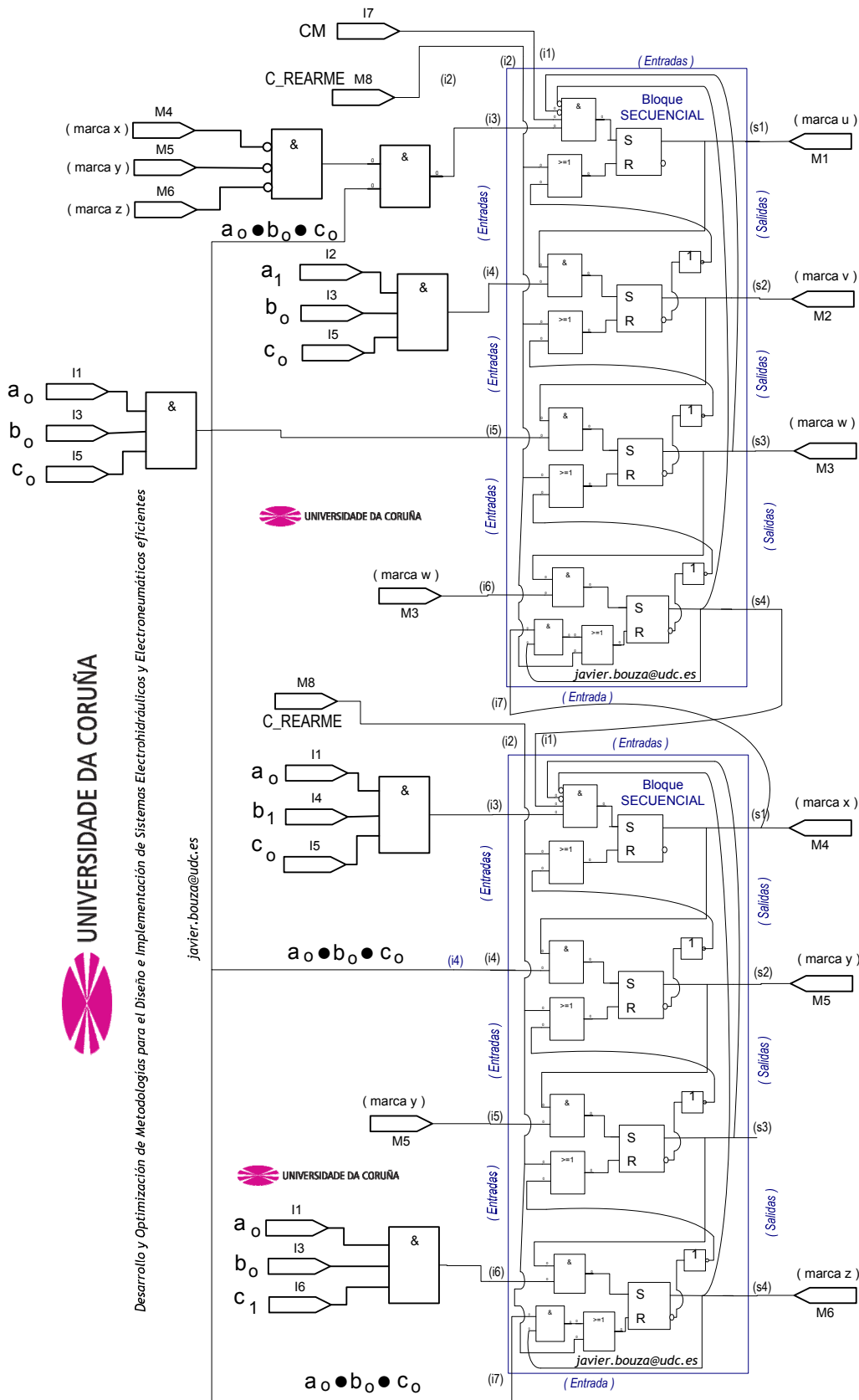
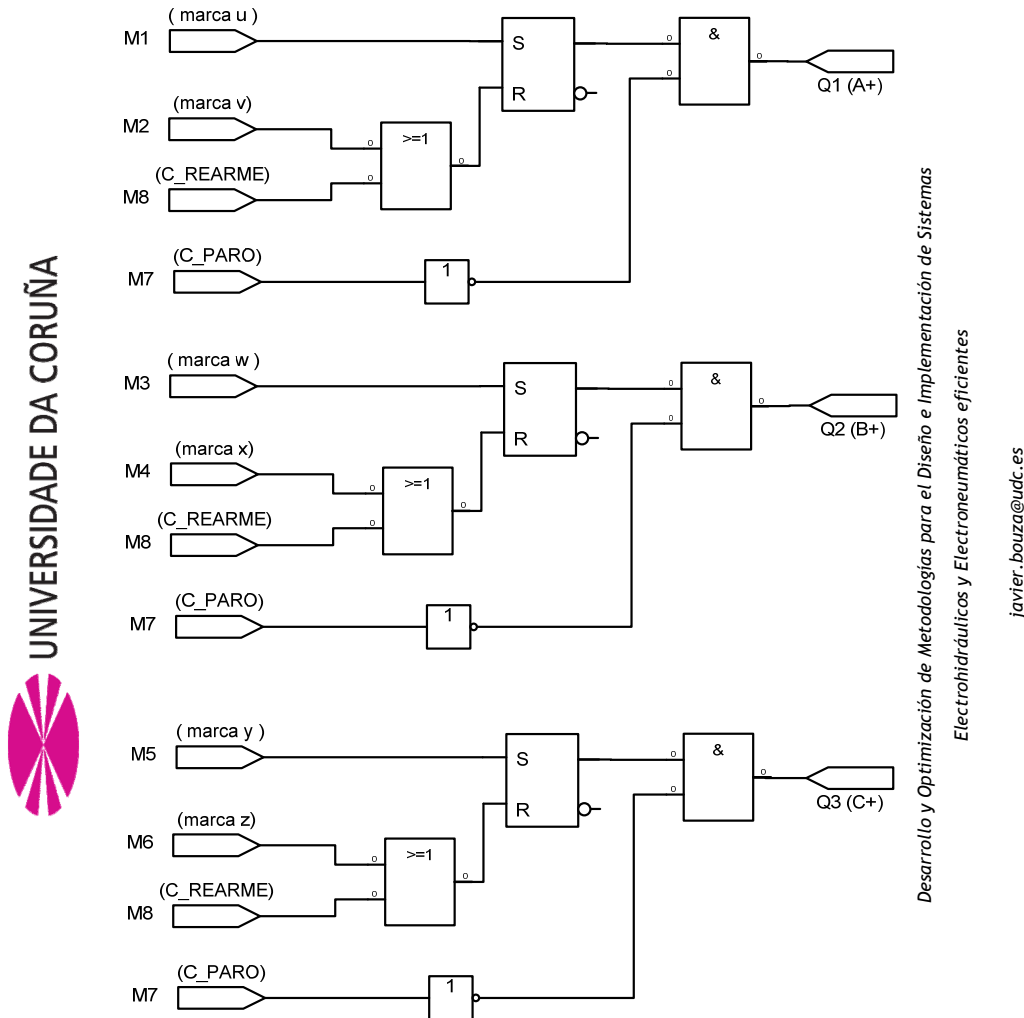


Figura 7.3.5.13.- Bloque definido de memorias auxiliares opción 2 - solución secuencial máxima.

Para el control de los distribuidores A, B y C, se tiene el siguiente FBD:



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes  
 javier.bouza@udc.es

Figura 7.3.5.14.- FBD distribuidores de potencia - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Y utilizando los “Bloques de Función definidos”<sup>70</sup> de las soluciones combinacionales y readaptándolos a la solución secuencial, se obtiene el algoritmo de control de los distribuidores. En este caso, y a diferencia de la solución secuencial mínima, será necesario emplear un único bloque “MONOESTABLE 2” pero modificando la función de algunas de sus entradas. Así:

<sup>70</sup> Desarrollados en el apartado 6.7 de esta Tesis.

El Bloque “MONOESTABLE 2” se emplea en el control de electroválvulas monoestables gobernadas por una orden que efectúa el cambio de grupo y ejecuta una etapa

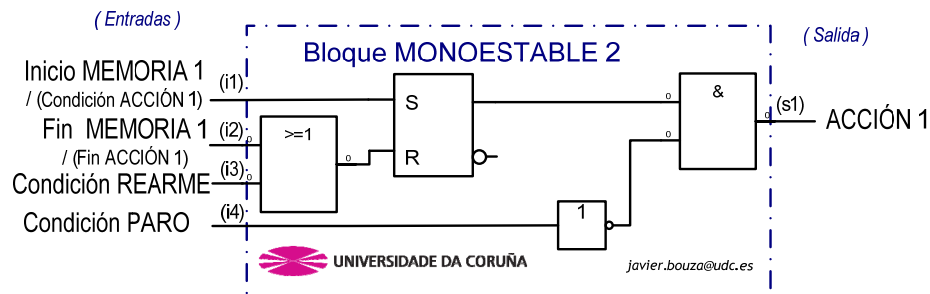
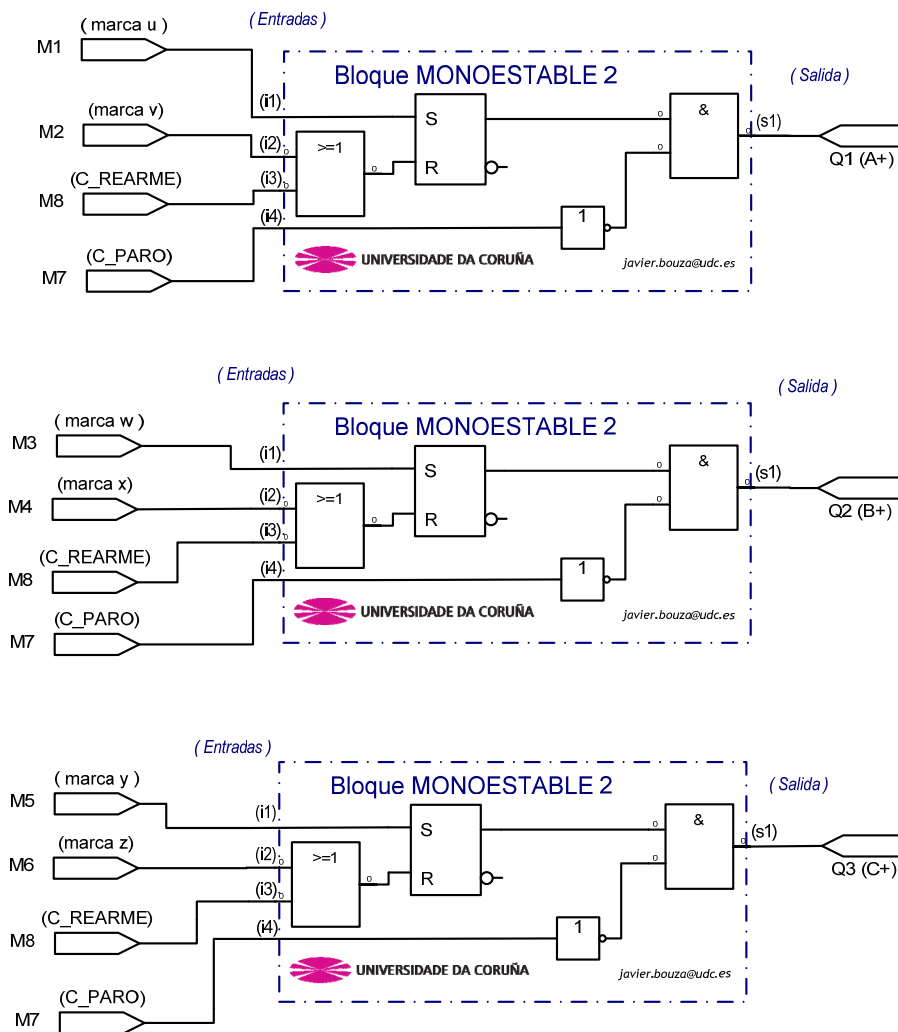


Figura 7.3.5.15.-Bloque Monoestable 2 - solución Secuencial máxima.

Las entradas y salidas de estos dos bloques, son:

- 1) Inicio MEMORIA 1= señal de activación de la “memoria 1”
- 2) Fin MEMORIA 1 = señal de desactivación de la “memoria 1”
- 3) Condición REARME = señal que inicia el rearme del sistema y resetea el bloque y su salida “ACCIÓN 1”.
- 4) Condición PARO = señal que inhibe la salidas “ACCIÓN 1”.
- 5) ACCIÓN 1= señal de mando para el gobierno del distribuidor de potencia.

Y queda:



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 7.3.5.16.-Bloque definido distribuidores - sec. A+ A- B+ B- C+ C- solución secuencial máxima.

Para la implementación del circuito fluidoico de potencia se emplean los modelos desarrollados en las soluciones combinacionales. Así, para la implementación “Paro con corte de energía fluidoica y mantenimiento de las memorias de control”, se muestran sus circuitos fluidoicos de potencia: primeramente la solución electrohidráulica y, luego, la solución electroneumática.

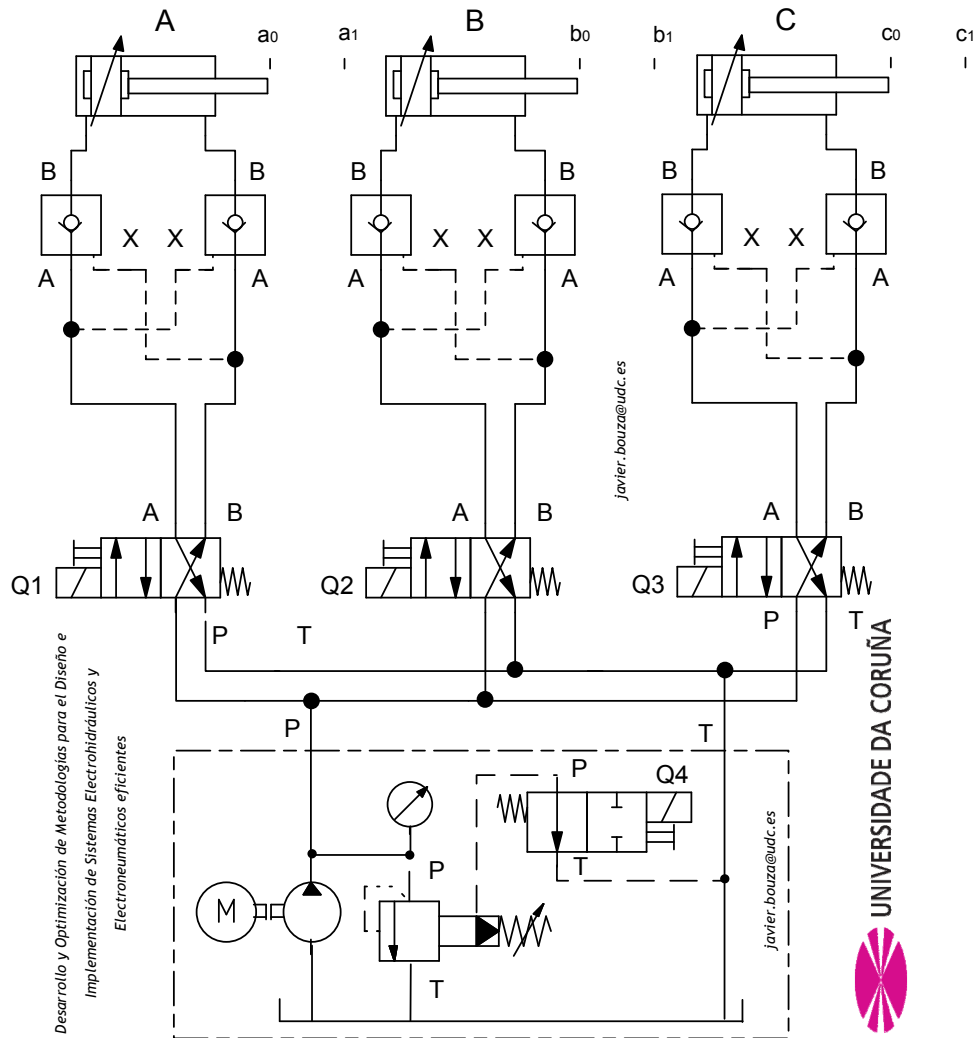


Figura 7.3.5.17.- Circuito funcional del sistema electrohidráulico - solución secuencial.

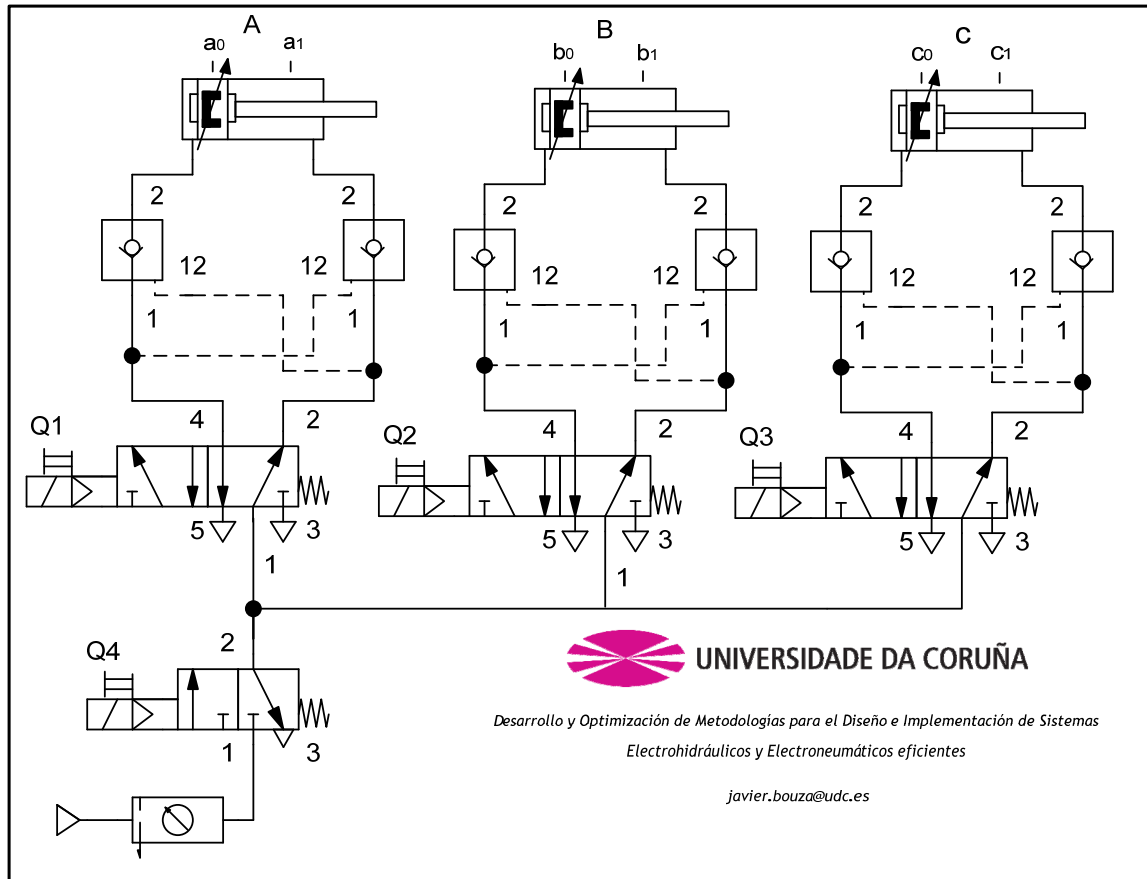


Figura 7.3.5.18.- Circuito funcional del sistema electro neumático - solución secuencial.

El paro se logra mediante la supresión de la energía fluidica por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la “caída de la fuente de energía fluidica” (grupo hidráulico o compresor) pero se mantiene el estado interno del subsistema de control. Esto último permite, al Subsistema de control disponer de capacidad de memoria del estado previo a la parada.

7.3.6 Resumen del Método Secuencial

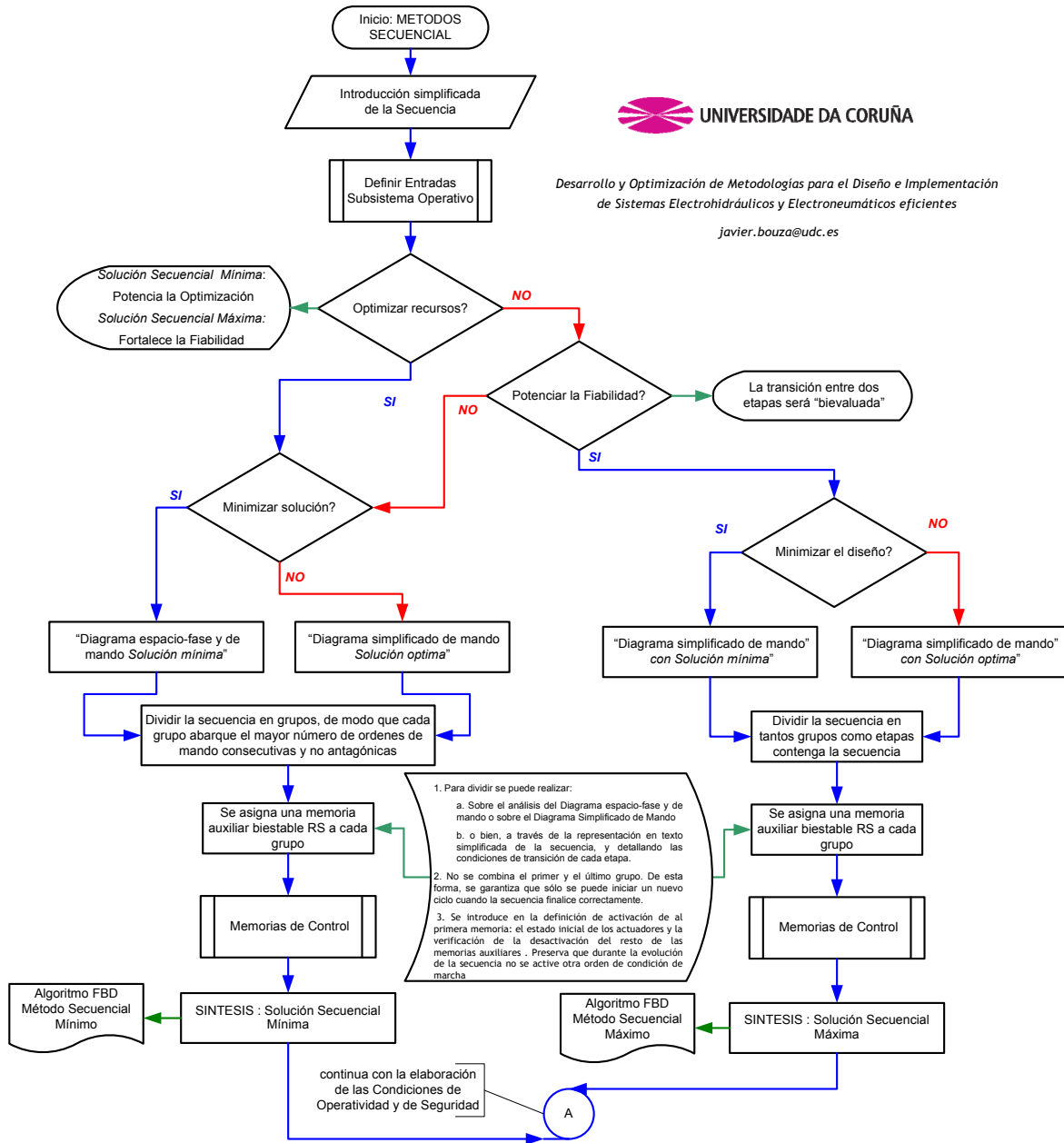


Figura 7.3.6.- Flujograma del Método Secuencial.





## 8. Resumen y Conclusiones



## 8 Resumen y Conclusiones

### 8.1 Resumen general.

En el capítulo I, se expone la concepción de este trabajo de investigación fundamentándose en la situación actual de los sistemas oleoneumáticos industriales y su diseño, tanto en aplicaciones terrestres como navales. Allí se argumenta cómo las fases de diseño y desarrollo de estos sistemas se centran en procedimientos intuitivos o métodos que requieren modificaciones y ajustes continuos hasta su implementación. De ello, surge la finalidad de esta Tesis “desarrollar y optimizar metodologías para el diseño e implementación de Sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos eficientes”.

En el capítulo II, se tratan de explicar cuales son los Objetivos que se han planteado con la realización de este trabajo, los cuales han sido: por un lado, investigar en los criterios y procedimientos de diseño a la hora de proyectar los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos desarrollados con controladores digitales programables que optimicen el binomio eficacia-simplicidad de las soluciones, sin omitir la seguridad humana y del sistema; y por otro, desarrollar metodologías sistemáticas de carácter universal que permitan el diseño e implementación de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos industriales de la manera más eficiente y segura. También se indica como se lleva a cabo el estudio en tres partes conexas y dependientes: una fase exploratoria, otra que investiga con soluciones en lógica combinacional y una tercera en soluciones en lógica secuencial, todo ello consolidado con una experimentación llevada a cabo en el laboratorio y con la experiencia adquirida en el campo.

El capítulo III está dedicado al preceptivo estudio del Estado del Arte que, lógicamente, versa sobre los Sistemas oleoneumáticos industriales y su diseño e implementación; estudio ciertamente difícil por la escasa y dispersa información específica en el ámbito de la investigación, encontrándose la fuente de información principal en los fabricantes y normas sobre esta tecnología. Por todo

ello, se ha hecho una contextualización y clasificación de las tecnologías y conocimientos paralelos que influyen y condicionan el tema de la Tesis.

En el capítulo IV se ha expuesto tanto los recursos como el método de investigación aplicado. Para esto último, se ha definido un procedimiento de trabajo que permite no sólo precisar y estructurar formalmente el proceso de investigación, sino disponer de una forma de proyectar los Sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos para alcanzar el rendimiento máximo y fructífero en la ingeniería de diseño; algo que es trascendental para competir en la globalización económica actual: “el procedimiento no sólo debe permitir resolver problemas sino abrir oportunidades al responder con rapidez y satisfacer los requisitos más exigentes”.

En el capítulo V se ha estudiado el distribuidor de potencia que más se adecua al sistema electrohidráulico o electroneumático a diseñar, centrándose en el punto de vista de funcionalidad, comportamiento y control. Este análisis del distribuidor, se ha realizado en dos vertientes:

1. una caracterización estática que se ha centrado fundamentalmente en su funcionalidad y su forma de control:
  - i. Se han catalogado los distribuidores más habitualmente empleados en la electrohidráulica y electroneumática desde un punto de vista funcional.
  - ii. Se han tratado los aspectos constructivos y de montaje de los distribuidores, las tipologías de accionamiento usadas, sus características y sus prescripciones.
2. una caracterización dinámica que condicionará su comportamiento y, también, su control que se ha llevado a cabo en dos estudios:
  - i. La característica de conmutación, donde se han estudiado tres aspectos: los cantos de control, la sobreposición tanto en “parada” como en la “conmutación” y el tiempo de conmutación.

Se ha analizado y discutido sobre los efectos que estos aspectos provocan en el comportamiento del distribuidor dentro del contexto del circuito fluídico de potencia a diseñar; y se han tratado los elementos y

procedimientos de reglaje de los tiempos de conmutación de acuerdo a la tipología del distribuidor y al circuito a desarrollar.

- ii. La característica de control, donde se ha analizado el comportamiento de los distribuidores de potencia del sistema electrohidráulico y electroneumático ante las órdenes emitidas por el subsistema de mando. Para tal fin, se construyeron en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol dos modelos neumáticos y uno hidráulico que han permitido simular el estado y la reacción del distribuidor de potencia ante las diferentes situaciones posibles de control; con especial atención a las situaciones anómalas, como el problema de “señales permanentes” (simultaneidad de las ordenes opuestas de mando).

Todo esto, ha permitido obtener resultados para abordar de manera eficaz el desarrollo de las metodologías de diseño combinacional y secuencial de los capítulos posteriores.

En el capítulo VI, se investigan y desarrollan Técnicas Combinacionales que tienen su mayor uso en aquellos sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos cuyo número de actuadores no exceda el valor de cuatro y que precisen de una solución de operatividad de control simple, segura y económica. Las soluciones obtenidas se caracterizan porque determinadas combinaciones de los parámetros de entrada producen determinadas combinaciones de los parámetros de salida y son independientes del tiempo. Para realizar esta labor, primeramente, se han estudiado las dos problemáticas en el diseño:

- i. *señales permanentes*: órdenes antagónicas y simultáneas en un mismo distribuidor de potencia.
- ii. *semejanza de ordenes*: órdenes de mando cuyas definiciones son semejantes y que ejecutan acciones distintas en etapas diferentes de la secuencia.

Estas sobreposiciones de órdenes impiden que el distribuidor y el sistema actúen de la forma correcta en el momento en el cual subsisten las señales.

Para el desarrollo de los dos métodos de diseño expuestos en el capítulo VI se han empleado, como herramientas, los diagramas desplazamiento-fase, de mando y el de comportamiento de las bobinas. Estos diagramas han permitido analizar el estado y los períodos de las órdenes de mando y de los accionamientos en conjunción con la secuencia de movimiento de los elementos de trabajo.

Se ha definido un primer método para el diseño y desarrollo del mando de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, denominado “Método combinacional I”. Este primer método sólo es aplicable cuando está garantizada la inexistencia de problemas de señales permanentes y de semejanza de órdenes. Y se ha ejemplarizado el método con un tipo de secuencia denominada en esta Tesis “secuencia de inversión exacta”. Para la optimización de este primer método se ha estudiado:

- i. Las distintas soluciones del algoritmo de funcionamiento y se han comparado sus configuraciones.
- ii. La influencia de la tipología del distribuidor de potencia empleado y su repercusión en el funcionamiento de la secuencia.

De todo ello, se han obtenido dos soluciones para el Método combinacional I y un procedimiento predefinido, denominado “Memorias de control”, para los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos. Las soluciones desarrolladas son:

- i. “Solución mínima”: que se desarrolla, únicamente, con las entradas que confirman la ejecución de fase y que se utilizará exclusivamente con las secuencias de inversión exacta.
- ii. “Solución óptima”, que se resuelve mediante las entradas que están presentes al iniciarse la fase y por la que preferentemente se apuesta.

A su vez, el uso del Procedimiento predefinido “Memorias de control”, sobre las soluciones anteriores, ha generado dos variantes: “con” y “sin memorias de control”. “Con memorias de control”, será la opción propuesta por defecto, y potenciará una mayor fiabilidad y seguridad en el diseño. Y se ha dejado el uso de “sin memorias de control”, como alternativa, para los circuitos con todos sus distribuidores de tipología biestable.

Una vez ensayado y concluido el primer método, se ha investigado en un segundo método combinacional para cualquier tipo de secuencia, denominado “Método combinacional II”. Este método se fundamenta en las órdenes de mando elaboradas mediante las entradas que están presentes al iniciarse cada fase de la secuencia, tanto de los captadores de información como del operador y en el empleo auxiliar de memorias lógicas del tipo biestable RS. Este segundo método permite resolver tanto las problemáticas de señales permanentes como la semejanza de órdenes en cualquier tipo de secuencia. Además, como se ha demostrado, aumenta la fiabilidad y la seguridad del diseño, al memorizar las ordenes de mando.

Con objeto de analizar las posibilidades y limitaciones del Método combinacional II se ha estudiado, en profundidad, su aplicación a cuatro secuencias que reflejan las dificultades y complejidades que pueden acaecer. Además, el estudio de estos cuatro casos ha permitido inferir un conjunto de conclusiones, generalizables, en lo referente al uso y desarrollo de este método como solución combinacional para el mando programable de los sistemas electroneumáticos y electrohidráulicos industriales.

Para el desarrollo de este método, se ha incorporado una nueva herramienta, el “diagrama simplificado de mando”, que permite visionar de manera rápida y detallada la secuencia y las problemáticas a resolver. Dos han sido los problemas a resolver: por un lado, la semejanza de ordenes de mando para lo cual se ha introducido el uso de las memorias biestables RS como elementos auxiliares para la diferenciación de las ecuaciones lógicas booleanas que las definen; y por otro lado, el comportamiento del controlador o PLC ante la ejecución de ordenes de mando semejantes o parecidas en una solución combinacional. A su vez, la introducción de memorias auxiliares ha generado la

necesidad de un análisis de cómo se optimiza su uso en cuanto a número, ubicación y evitar nuevas semejanzas entre sus definiciones y las propias ordenes de mando. También, en este método, se han incorporado las condiciones de temporización y de retardo para su implementación en el algoritmo de control.

Por último, en este Método Combinacional II, se ha tratado la minimización de las soluciones. Minimizar, con objeto de simplificar la complejidad de la solución agiliza y facilita la supervisión y el mantenimiento, pero no debe condicionar nunca los aspectos de fiabilidad y seguridad de la solución combinacional origen.

Una vez expuesto el primer bloque del procedimiento de la Síntesis de los Métodos Combinacional I y II, se ha estudiado un segundo Bloque que permita implementar las condiciones de operatividad y seguridad de ambos métodos en conjunción con el circuito fluídico de potencia a emplear. La finalidad de este segundo Bloque es: mantener la capacidad funcional de las máquinas, facilitar el mantenimiento y garantizar la seguridad humana y de sus componentes.

Para desarrollar este segundo bloque de Síntesis:

- i. Se ha partido de un “mando básico” que cualquier máquina electrohidráulica o electroneumática debe al menos disponer.
- ii. El desarrollo se ha acompañado de una experimentación de las situaciones de operación o anomalías que aseguren que los resultados son confiables.

En este mando básico, se ha contemplado:

- i. Las condiciones de marcha, paro, seguridad, rearme y modos de operación más empleados así como sus aspectos normativos e específicos en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos.
- ii. Los criterios de prioridad y restricciones para el diseño de las condiciones de operación y seguridad.



- iii. y “medidas inherentemente seguras” que prevén situaciones de malfuncionamiento de los elementos del sistema y aumentan la fiabilidad del mando.

Y, en este segundo bloque, se han implementado cuatro casos que incluyen el circuito fluídico de potencia con:

- 1) Paro con corte de energía fluídica y reseteo de las memorias de control.
- 2) Paro con corte de energía fluídica y mantenimiento de las memorias de control.
- 3) Paro con mantenimiento de la energía fluídica y de las memorias de control.
- 4) Paro con mantenimiento de la energía fluídica y de las memorias de control con inercias elevadas.

Sobre estos cuatro modelos, se han implementado las condiciones de operación y seguridad de dos formas:

- i. sobre el propio programa de control y, en consecuencia, sobre el subsistema de control.
- ii. sobre la parte operativa: donde se han aplicado los fundamentos y conocimientos de la Tecnología Oleoneumática.

Con estos casos, se definen las condiciones de operatividad y seguridad que deben presentar, al menos, los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos diseñados en esta Tesis y que pretenden responder a la realidad industrial.

Los resultados de estos cuatro casos han permitido: por un lado, generalizar para otras condiciones, tanto de operatividad como de seguridad; y por otro, estandarizar con los “Bloques de Función definidos” bloques lógicos predefinidos que permitirán desarrollar las condiciones de operatividad y seguridad en conjunción con el programa de funcionamiento de manera eficiente; nuevo recurso implementado, probado y contrastado en esta Tesis.

En el capítulo VII se estudia las Técnicas secuenciales que, también, permiten construir sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos de forma sistemática y rápida, protegidos contra conmutaciones erróneas, independientemente de su complejidad. En estas soluciones secuenciales: *las salidas no sólo dependen de sus entradas sino, también, de sus estados anteriores*. Esta “información” de sus estados anteriores preservará, aun más, la seguridad que debe disponer el sistema en todo momento. Además, garantiza que sólo sea una orden u órdenes concomitantes (pero nunca antagónicas) las que actúan en todo momento; eliminando cualquier problema de señales permanentes y de semejanza de órdenes.

Se desarrollaron, en este capítulo, dos métodos: “Método secuencial mínimo” y “Método secuencial máximo” con dos posibilidades “solución con entradas que confirman la ejecución de fase” y “solución con entradas que están presentes al iniciarse la fase”. Además, se implementaron las condiciones de operatividad y seguridad empleando tanto lenguaje FBD como Bloques de Función definidos. Y en este último aspecto, se crearon nuevos bloques específicos para estas soluciones secuenciales. Con estas soluciones se alcanza la máxima expresión de seguridad en el diseño, y especialmente, con el Método secuencial máximo. Este permite al Subsistema de control cotejar la orden de mando con el momento en el que se debe ejecutar. *En conclusión, estos dos métodos secuenciales se caracterizan por su sistematización y seguridad a la hora de proyectar*: el algoritmo se asienta sobre una estructura en bloques que contienen siempre el mismo concepto lógico. Esto facilita de manera ostensible “el camino de la solución” aunque sea algo más largo que el generado por los métodos combinacionales.

Esta Tesis concluye con actual capítulo VIII, que recoge este resumen, las conclusiones relevantes para cada bloque tratado y las conclusiones finales, que son el objetivo final del estudio/investigación.

## 8.2 Conclusiones parciales

A lo largo de este trabajo se han definido una serie de criterios y procedimientos que corroboran y amplían los conocimientos divulgados hasta el momento, y que permiten proyectar los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos con controladores digitales programables, de forma sistemática, con el objetivo de optimizar el binomio eficacia-simplicidad, sin omitir la seguridad humana y del sistema. A continuación, pasan a resumirse las principales aportaciones obtenidas sobre los temas estudiados y los métodos desarrollados. En total se presentan setenta y cuatro postulados:

### ***En cuanto, a caracterización teórica y experimental de los distribuidores de potencia:***

1. Para realizar de manera segura su selección es necesario conocer los diferentes elemento fluidicos (válvulas reguladoras de caudal, válvulas reguladoras de presión, válvulas antirretorno y de bloqueo entre otras) que acompañan al distribuidor en el circuito a desarrollar, ya que repercuten sobre la funcionalidad y el comportamiento de los distribuidores de potencia.
2. Sin necesidad de tratar la forma constructiva de los distribuidores, se puede catalogar su funcionamiento según número de conexione útiles controladas (no se contabiliza ni drenajes ni conexiones de pilotaje), el número posible de posiciones de maniobra, su posicional normal o de reposo si existe y el método de accionamiento o pilotaje. En el capítulo V, y en las Tablas 5.2.4 y 5.2.5., se muestra la catalogación de las electroválvulas más habituales en la Electroneumática y Electrohidráulica.
3. A mayores, y específicamente, en los distribuidores de tres posiciones se debe considerar los criterios sobre selección y uso de los “centros” que se describen en la Tabla 5.2.6. del capítulo V.

4. Las ventajas que las válvulas servopilotadas ofrecen, en relación con el consumo eléctrico, el tamaño de las bobinas y la irradiación de calor, han tenido como consecuencia:
  - i. que en los Sistemas Electroneumáticos, este tipo de accionamiento sea el habitual.
  - ii. que en el campo de la Electrohidráulica, el accionamiento electromagnético directo sólo persiste en los tamaños nominales no superiores a TN10 (a modo de referencia, corresponden a una potencia aproximada de 120 l/min a una presión de servicio de 350 Bar), y por encima de este valor, el accionamiento servopilotado es el que, habitualmente, se emplea.
5. En las electroválvulas hidráulicas servopilotadas se debe considerar:
  - i. la posibilidad de alimentación externa: De esta forma, se puede conseguir una conmutación más precisa y suave. Esta opción se adapta mejor a las exigencias, en cuanto a presión y caudal, que en el caso de alimentación interna.
  - ii. que, en el caso, de ser preciso montar la válvula en posición no horizontal es inadecuado usar el centraje por muelles y se debe emplear el centraje por presión (lo que permite descartar el efecto del peso de la corredera principal).
6. Se deben estudiar, con exhaustivo detalle, las características de conmutación de las electroválvulas: cantos de control, sobreposición y tiempo de conmutación. Es necesario consultar esta información en catálogo o, en su defecto, al fabricante. Su inadecuación, en relación a las características del circuito fluídico a desarrollar, no sólo afectará al comportamiento dinámico del sistema sino a la seguridad del mismo.
7. La sobreposición en la conmutación, en las electroválvulas de asiento, se ajusta mediante el tiempo de respuesta mientras que en las electroválvulas de corredera es necesario conocer sus posiciones de transición (opcionalmente representadas en el símbolo del distribuidor mediante

cuadrados con líneas de trazos). A modo de resumen, se detalle el efecto de la sobreposición sobre un actuador en la siguiente tabla.

Tabla 8.2.1.- Resumen Sobreposición en la conmutación.

| Sobreposiciones                                    | Efecto actuador             |
|--|-----------------------------|
| <i>Sobreposición Negativa</i>                      | "arranque suave"            |
| <i>Apertura previa de la tubería de descarga:</i>  |                             |
| <i>Sobreposición Positiva</i>                      | "arranque duro"             |
| <i>Apertura previa hacia la tubería de presión</i> |                             |
| Sobreposición cero                                 | "arranque rápido y preciso" |

8. Preferentemente, se utilizarán electroimanes de conmutación en "fluido" para el accionamiento de las electroválvulas. La razón se encuentra en su construcción, ya que su inducido sufre menor desgaste, una llegada amortiguada al tope y una mejor disipación de calor que las otras tipologías. En hidráulica y, especialmente, en instalaciones a la intemperie o ambientes marinos, esta versión es la recomendada ya que el fluido protege contra la corrosión de las piezas
9. Para el uso de electroimanes de corriente alterna (AC), en las electroválvulas, se deben vigilar dos aspectos: causas que pudieran originar el atasco de la corredera principal del distribuidor (p. ej. filtraje insuficiente o uso no prolongado); y la simultaneidad de activación de dos accionamientos antagónicos. Ambas situaciones generan el calentamiento excesivo del electroimán, lo que provocará su progresivo deterioro o incluso un posible riesgo eléctrico.
10. El uso de electroimanes de corriente continua (DC) permite una conmutación más suave, una durabilidad y seguridad mayor, y un menor consumo eléctrico (en torno a un 50%). Pero en contrapartida, tienen un tiempo de respuesta y un coste complementario de instalación eléctrica mayor.

11. El reglaje del tiempo de conmutación mediante inserción de Bloques lógicos temporizados en el programa de control, es la opción preferente en el control de las electroválvulas neumáticas. En los distribuidores hidráulicos de corredera con accionamientos eléctricos convencionales y de tamaño nominal mayor a TN10 esta opción debe ser, siempre, acompañada por elementos auxiliares específicos de la hidráulica.
12. Los elementos auxiliares, habitualmente, empleados en la electrohidráulica para el reglaje del tiempo de conmutación son:
  - i. para válvulas de accionamiento directo: el tornillo regulador (prescrito únicamente para bobinas de corriente continua).
  - ii. En las válvulas servopilotadas: la placa de temporización y las toberas en el canal de mando (casos sencillos).
13. El modelo de biestable fluídico, desarrollado en esta Tesis, responde a la siguiente tabla de verdad:

Tabla 8.2.2.- Modelo biestable fluídico y tabla de verdad.

| $S$ | $R$ | $q_n$ | $\bar{q}_n$ | $q_{n+1}$ | $\bar{q}_{n+1}$ | Diagrama neumático |
|-----|-----|-------|-------------|-----------|-----------------|--------------------|
| 0   | 0   | 0     | 1           | 0         | 1               |                    |
| 0   | 0   | 1     | 0           | 1         | 0               |                    |
| 0   | 1   | 0     | 1           | 0         | 1               |                    |
| 0   | 1   | 1     | 0           | 0         | 1               |                    |
| 1   | 0   | 0     | 1           | 1         | 0               |                    |
| 1   | 0   | 1     | 0           | 1         | 0               |                    |
| 1*  | 1   | 0     | 1           | 1         | 0               |                    |
| 1*  | 1   | 1     | 0           | 1         | 0               |                    |
| 1   | 1*  | 0     | 1           | 0         | 1               |                    |
| 1   | 1*  | 1     | 0           | 0         | 1               |                    |

\* señal que primero llega

14. El modelo biestable fluídico permite evaluar:
  - i. el comportamiento de los distribuidores de potencia de dos posiciones con ambos accionamientos fluídicos o electromagnéticos o electro-pilotados fluídicamente.
  - ii. El problema de “señales permanentes” para los distribuidores de tipología biestable y de tipología monoestable de tres posiciones.
15. En las electroválvulas de tipología biestable y monoestable de tres posiciones donde exista simultaneidad de señales, “señales permanentes”, no existirá situación de incertidumbre. Siempre prevalecerá la posición de maniobra anterior cuando se activen simultáneamente los dos accionamientos.

***En relación a las problemáticas de señales:***

16. “En toda solución combinacional de control, de un sistema oleoneumático, en la que no existen acciones antagónicas y consecutivas de un mismo actuador no se presentan problema de señales permanentes sobre sus distribuidores”
17. “Todo solución combinacional de control en cuya secuencia exista uno o varios actuadores que ejecutan la acción en una fase y la contraria en la siguiente: existirá posibilidad de señales permanentes en los distribuidores de potencia que gobiernan dichos actuadores”.
18. “El uso de la representación simplificada para el análisis de señales permanentes en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos sólo sirve en el caso de tipologías de distribuidores de potencia que presentan accionamientos electromagnético de corriente continua”.
19. “El uso de los diagramas espacio-fase y mando, en los sistemas oleoneumáticos, permite disponer de una herramienta para el análisis de las señales permanentes, que es independiente de las tipologías de accionamiento de los distribuidores de potencia empleados”.
20. “Una solución combinacional, para un sistema electrohidráulico o electroneumático, no tendrá problema de señales permanentes ni de

semejanza de ordenes de mando cuando al desarrollar su representación simplificada de la secuencia y dividirla por la mitad presenta las letras de los actuadores en el mismo orden en ambas partes. A este tipo de secuencia, se le denomina “secuencia de inversión exacta”.

***En relación al Método combinacional I :***

21. Una secuencia de inversión exacta resuelta con la solución óptima del Método combinacional I no produce señales simultáneas, ni sobre un mismo distribuidor (“señales permanentes”), ni sobre distribuidores diferentes.
22. La solución óptima del Método combinacional I permite eliminar los ordenes de mando sin efecto y consigue la minimización del consumo de los distribuidores de potencia empleados.
23. El uso de electroválvulas monoestables, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, exige al subsistema de control que para activar un estado inestable, de este tipo distribuidor, sea necesario mantener la tensión de mando sobre su respectivo accionamiento electromagnético durante todo su tiempo de actuación.
24. El uso de memoria de control, en el distribuidor de tipología monoestable, garantiza el efecto de una orden de mando sobre una posición inestable sin necesidad de mantener continuamente la señal de activación de la misma.
25. El Procedimiento predefinido de las memoria de control, para los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, que emplean distribuidores de tipología monoestable requiere de tantas memorias biestable RS asíncronas como número de posiciones inestables de los mismos.
26. El uso de electroválvulas de tipología biestable, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, no exige al subsistema de control mantener la tensión de mando sobre el accionamiento electromagnético. Para mantener la posición, bastará con un único pulso de la señal de mando.



27. El uso de electroválvulas de tipología biestable, en los sistemas oleoneumáticos que no presentan problemas de señales permanentes, implica que la activación de una posición supone la desactivación de la otra. Y por tanto, las electroválvulas biestables no disponen de un estado natural de reposo y tomarán como posición de partida la que defina el sistema en su situación de reposo.
28. La solución óptima, respecto a la solución mínima, en el Método combinacional I sobre distribuidores de tipología biestable minimiza consumos de los distribuidores y aumenta la seguridad del sistema.
29. El uso de memorias de control, biestables RS asíncronos, en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos permite memorizar las órdenes de mando y sus efectos. E infiere al sistema la capacidad de disponer de información que identifique y valore la situación real del sistema en todo momento y, especialmente, en las situaciones de fallo o avería.
30. El Procedimiento predefinido de las memorias de control, para los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos, requiere de dos memorias biestables RS asíncronas con estructura cruzada para cada distribuidor de tipología biestable.

#### ***En relación al Método Combinacional II :***

31. La solución del Método Combinacional II emplea, por defecto, dos captadores por actuador y considera las entradas que están presentes al iniciarse la fase para la definición de sus órdenes de mando. Y por tanto, no existen problemas de señales permanentes y se eliminan “las señales sin efecto”<sup>70</sup>
32. El empleo del “Diagrama de mando simplificado”, en el Método Combinacional II, garantiza un análisis exhaustivo y rápido de la secuencia y de la problemática de la semejanza de órdenes.

---

<sup>70</sup> *Accionamientos eléctricos activados, en un distribuidor, sin una necesidad real del mando y con efecto indiferente para la secuencia.*

33. La determinación del número de memorias auxiliares del Método combinacional II que son necesarias para diferenciar ordenes semejantes responde al principio "con  $n$  memorias auxiliares binarias se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas"
34. Las ecuaciones de las memorias auxiliares del Método combinacional II, empleadas para discernir ordenes de mando semejantes, incorporarán el valor previo de todas las memorias empleadas y formarán, al menos, un sistema de  $n$  ecuaciones linealmente independientes.
35. La ubicación de las memorias auxiliares se establece, preferentemente, de forma que sus ordenes de activación y desactivación se sitúen sobre etapas que "no sufren" la semejanza de ordenes. Si no fuese posible, tal hecho, se estudiaran sus consecuencias. Y en último caso, se emplearán más memorias auxiliares adicionales para solventar tal situación.
36. El principio "con  $n$  memorias auxiliares binarias se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas" aplicado al número total de ordenes que sufren problema de semejanza, independientemente de que todas las ordenes sean semejantes entre sí<sup>71</sup>, garantiza un número correcto de memorias auxiliares para la solución del sistema. Una opción menor deberá ser objeto de un exhaustivo estudio.
37. En la definición del rango de las memorias auxiliares a emplear: se debe evitar que las órdenes de mando semejantes se diferencien por emplear, exclusivamente, todas las memorias auxiliares negadas. Y en el caso de hacerlo, se debe comprobar que su orden de ejecución con respecto a las señales de mando diferenciadas sea el primero.
38. Las ordenes de mando del Método combinacional II son implementadas, en el algoritmo de control, posteriormente a la activación y desactivación de las memorias auxiliares coincidentes en la misma etapa.
39. Que el conjunto de las órdenes de mando y de definición de las memorias auxiliares constituya un sistema de ecuaciones linealmente independiente no garantiza que la solución sea la correcta y habrá que estudiar más aspectos.

---

<sup>71</sup> P.ej. un total de cuatro órdenes formadas por dos pares de ordenes que padecen semejanza.

40. Es necesario que todas las órdenes de mando, salvo la inicial con la CM, se distingan de la condición de reposo. Por tanto, es imprescindible que aquellas ordenes de mando, menos la primera, que repitan las variables presentes en el estado de reposo no empleen todas las memorias auxiliares negadas para discernir su semejanza.
41. Es, también, necesario realizar un análisis que estudie la semejanza entre la definición de las memorias auxiliares empleadas y las órdenes de mando. Lo adecuado es que una memoria dada se active o desactive en un único punto de la secuencia y en el caso de que no sea así, habrá que estudiar sus consecuencias. Si los efectos son inocuos: no será necesario implantar más memorias auxiliares.
42. Que las secuencias, que presentan condiciones de temporización o retardo, podrán emplear las mismas para completar y diferenciar las órdenes de mando. Y en este sentido: por un lado, aportan un elemento diferenciador pero, también, pueden precisar de memorias auxiliares para distinguir el rango de sus temporizaciones.

***En cuanto, a la minimización del Método Combinacional II :***

43. Para determinar el número de memorias auxiliares estrictamente necesarias: En este sentido se parte de la premisa “Con  $n$  memorias auxiliares, de dos valores, se pueden diferenciar  $2^n$  señales de mando idénticas”. Esto permite marcar el número correcto de biestables RS a emplear. Este valor podría ser menor dependiendo de la propia secuencia y de sus condiciones de entrada. Pero será necesario analizar de manera exhaustiva la reducción de memorias y sus consecuencias mediante el contraste de Diagrama simplificado de mando y las definiciones de las memorias.
44. Estudiar el rango y la configuración de las memorias auxiliares empleadas. Por un lado, evitar activaciones y desactivaciones de memorias en etapas

- que sufren problema de semejanza y, por otro, abordar los períodos que más minimicen la complejidad del algoritmo.
45. El emplear la condición de marcha, “CM”, para minimizar el número memorias requiere para su aceptación de un análisis exhaustivo del diagrama simplificado de mando y de las definiciones de las memorias.
  46. La minimización no debe alterar el efecto de las órdenes de mando y de las memorias auxiliares susceptibles de presentar problemas de semejanza. Y preservando esta premisa, surgen los postulados 47 y 48.
  47. En aquellas órdenes de mando que no presentan semejanza se podrán prescindir de las memorias auxiliares o parte de ellas en su definición. Un criterio intermedio sería, sólo, mantener las memorias activadas en su definición.
  48. Para la definición de cada memoria auxiliar no será necesario tener en cuenta su estado precedente desactivado. Si bien la redundancia no estará nunca de más, en este caso, su no inclusión está controlada por las medidas de programación adoptadas.
  49. Con las condiciones de operatividad (marcha, paro, rearme,...) y las exigencias de seguridad con que se desarrolla el sistema sólo es recomendable la minimización si se hace un estudio exhaustivo e individual de cada condición. La minimización de estas condiciones nunca debe afectar a su operatividad y fiabilidad.
  50. El software y el lenguaje de programación empleado. En este sentido, cada fabricante disponen de recursos o instrucciones propias en su software de codificación que minimizan tanto la transcripción del programa como el tamaño.
  51. No se debe olvidar que una minimización puede dar lugar a un replanteamiento de la ubicación de las memorias auxiliares empleadas con objeto de optimizar aún más la solución. En este caso, será necesario, estudiar el nuevo contexto ocasionado mediante el diagrama simplificado de mando y las definiciones de las memorias.

**En cuanto a la Implementación de las Condiciones de operatividad y de seguridad del mando:**

52. Se definen las siguientes condiciones de operatividad y seguridad:

- **La Condición de Marcha o “CM”:** Es la orden que provoca el comienzo del funcionamiento del sistema electrohidráulico o electroneumático en el modo de operación seleccionado (manual, automático, etc.). Puede o no estar acompañada del cumplimiento de las condiciones iniciales o de reposo de los actuadores o incluso de la presencia de la pieza a trabajar.
- **El Modo de Operación:** Suele disponerse, en soluciones combinacionales, de los siguientes modos:

Tabla 8.2.3.- Modos de Operación.

| Modo            | Descripción  |
|-----------------|--|
| Automático      | El sistema opera según el programa de control, sin intervención humana.  |
| Semi-automático | Sólo una parte del sistema opera sin intervención humana.  |
| Manual          | En este modo es gobernado directamente por las órdenes del operador. Además, la ejecución de las ordenes podría esta condicionada por elementos de seguridad o de funcionamiento   |
| Ajuste          | Es un modo que permite al operador controlar individualmente los actuadores o componentes del sistema. Posibilita, en muchos casos, eludir dispositivos de seguridad y enclavamiento, por lo que debe ser utilizado únicamente por personal especializado. |
| Ciclo único     | Modo automático que ejecuta un solo ciclo de programa. El requisito previo es que se cumplan ciertas condiciones de marcha.  |
| Ciclo continuo  | Modo automático que ejecuta un determinado número de ciclos de programa siempre que se cumpla la condición de iteración.   |

- **La Condición de Paro:** Debe interrumpir la operación de la máquina y puede ser o no una parada controlada. Y se debe, prescribir que:
  - i. las condiciones de paro siempre tiene prioridad sobre las funciones de marcha que se hallen disponibles simultáneamente.

- ii. La eliminación de la condición de paro no debe generar ninguna condición de riesgo humano ni deterioro o malfuncionamiento del sistema electrohidráulico o electroneumático.
  - iii. Un paro de las categorías 0 y 1 debe ser capaz de actuar independientemente del modo de funcionamiento.
  - iv. Un paro de categoría 0 tiene la prioridad más alta sobre las funciones de control y modos de operación.
  - v. Toda máquina electrohidráulica y electroneumática debe estar equipado de una parada de categoría 0 y, frecuentemente, se realiza a través de la Parada de emergencia.
  - vi. Los paros de categoría 1 y 2 deben habilitarse en aquellos casos en que hay razones funcionales o de seguridad y se realizan por medio del programa de control del PLC
- **La Parada de Emergencia:** Se implementará con una o varias “setas de emergencia” que estarán disponibles en todas las posiciones en las que pueda ser necesario. Este órgano no deberá poder bloquearse sin que se genere una orden de parada y su desbloqueo no deberá volver a poner en marcha la máquina, sino sólo autorizar que pueda volver arrancar.
- **La Condición de Seguridad:** la componen los dispositivos y medidas cuya finalidad es la seguridad en las máquinas. Estos deben permitir, al subsistema de mando programable, prever las situaciones potencialmente peligrosas y, en consecuencia, ordenar las acciones para llevar al sistema a un estado seguro.
- **La Condición de Rearme:** Su activación situará al sistema en condiciones iniciales, afectará tanto al subsistema de control (PLC) como al subsistema de operación (distribuidores, actuadores, etc.).

53. Para el “mando básico” del sistema electrohidráulico o electroneumático se establece que:

- i. El Paro domina sobre la Marcha y el Rearme. Y estas dos últimas operaciones están al mismo nivel.

- ii. La Condición de Paro estará activada por las entradas de Paro y de las Condiciones de Seguridad del sistema y dominará sobre el resto de las condiciones operación.
- iii. Y las entradas de paro y de seguridad se implementará a través de contactos normalmente cerrados con objeto de garantizar su activación en caso de fallo eléctrico.
- iv. En cualquier etapa o circunstancia de la máquina podrá ser activado el Paro y su condición. Y su desactivación no pondrá, de nuevo, al sistema electrohidráulico o electroneumático en funcionamiento.
- v. La Condición de Marcha pondrá al sistema en funcionamiento normal siempre que la Condición de Paro o de Seguridad no estén activadas. Podrá disponer de distintos modos de operación (ciclo único, ciclo continuo, etc.). Pero su acción debe terminar con la finalización del ciclo y situando a la máquina en estado natural de reposo.
- vi. La Condición de Rearme: Dispondrá de una entrada de rearme y una condición identificativa de la misma. Su petición sólo podrá realizarse previamente parada la máquina y si las condiciones de Paro y Seguridad no están activadas. Su acción hará que el sistema se ponga en funcionamiento para situar a los actuadores en condiciones iniciales y reseteará todas las memorias de control. La desactivación de la condición de rearme se realizará automáticamente cuando se ejecute correctamente la acción o cuando se active el paro o la seguridad de la máquina.

54. Se ha comprobado que los Métodos Combinacionales I y II con las soluciones que optan por el uso de los sensores presentes al iniciarse la fase, “solución óptima”, así como, el uso de “memorias de control” mejoran ostensiblemente la seguridad de la máquina sin suponer un incremento

- constructivo y económico. Que se incluye, en esta Tesis, en las denominadas “medidas de diseño inherentemente seguro”.
55. Otras medidas de diseño inherentemente seguro son: los grados de protección de los componentes, protecciones contra vibraciones e interferencias de todo tipo (eléctricas, magnéticas,..) y las disposiciones del Instituto de Seguridad e Higiene del Trabajo referentes a actuadores de trabajo (se encuentran resumidas en la página 277)
56. Además, las medidas del diseño inherentemente seguro adoptadas nunca deben ser justificación para prescindir de la protección que toda máquina debe cumplir para evitar que las personas entren en contacto con los peligros, o bien para reducir los peligros a un nivel seguro, antes de que las personas puedan entrar en contacto con ellos. Y en ese sentido, se definieron las condiciones de seguridad y su implementación.
57. Que el uso de “Bloques de función definidos” incrementa la eficiencia de la labor de diseño de manera notable. Entre las ventajas de su uso:
- i. Tecnifica el proceso de diseño y evita errores o incongruencias en la lógica de control.
  - ii. Permite desarrollar programas de control más legibles y reducir su tamaño.
  - iii. Reduce el tiempo de programación al disponer de una librería de referencia.
  - iv. Permite realizar de manera más centralizada todos los cambios en la lógica de control.
  - v. Mejora la gestión de la información debido a su estructuración y estandarización.
  - vi. Reduce costes de diseño.



***En cuanto a los cuatro modelos para la implementación de las Condiciones de operatividad y de seguridad para el mando básico.***

58. *“Paro con corte de energía fluídica y reseteo de las memorias de control”*: el Paro se logra mediante la supresión de la energía fluídica por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la “caída de la fuente de energía fluídica” (grupo hidráulico o compresor).

- a. Se empleará para paralizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores con baja inercia y caudales de diseño bajos. Y que desactivada la Condición de Paro sólo autoriza a rearmar el sistema para comenzar de nuevo.
- b. La supresión y activación de la energía fluídica se implementa:
  - i. en electroneumática: con una electroválvula monoestable 3/2 servopilotada NC que corta el suministro de aire.
  - ii. En electrohidráulica: mediante una válvula limitadora de presión con “venting” (o “descarga a baja presión”). El venting se desactiva con una electroválvula 2/2 NA.
- c. De esta forma, y por seguridad, se detiene el suministro de energía fluídica por solicitud de Paro o por condición de seguridad activada o por fallo del suministro eléctrico de control o de la fuente de potencia fluídica (compresor o grupo hidráulico).
- d. El paro y bloqueo de los actuadores se realizará:
  - i. en electroválvulas de tres posiciones y tiempos de retención cortos, escogiendo una posición central cerrada del distribuidor; y en el caso de tiempos mayores, escogiendo una posición central libre o abierta (un solo actuador en el circuito) del distribuidor y acompañándola de válvulas antirretornos desbloqueables.
  - ii. En electroválvulas de dos posiciones, con válvulas antirretorno desbloqueables.

- e. En caso de fallo de control eléctrico, las electroválvulas siempre se situará en posición de reposo o central. Y el sistema quedará parado y bloqueado. La restauración de la energía no podrá en funcionamiento la máquina.
- f. La Condición de Paro:
  - i. realiza un paro controlado y sitúa al sistema en estado seguro.
  - ii. Se activa y memoriza por las siguientes causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por el fallo de energía eléctrica. Mientras se mantenga activadas cualquiera de estas tres causas, no será posible salir de su Condición de Paro.
  - iii. Para salir de la Condición de Paro se activará el Rearme y sólo es posible si las causas que lo provocan desaparecen o no están activadas.
  - iv. Resetea las memorias de control y marcas internas del programa de control. Por tanto, el subsistema de mando no dispone de registro del estado previo al paro. Una vez desactivado la Condición de Paro, sólo será posible el rearme del sistema para poder iniciar de nuevo la marcha.
- g. La Condición de Rearme:
  - i. sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas. Y esto ocurre en dos casos: o parando la máquina y, luego, desactivando la condición de Paro o en la puesta en marcha de la máquina cuando sus actuadores no están en su estado inicial.
  - ii. Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada “Rearme”, y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.
- h. Se debe introducir una *Condición de Seguridad*: implantar un dispositivo de protección humana (un sensor de presencia o interruptor

de enclavamiento que detecta la posición de las protecciones fijas o un tapiz, etc.) y que activa la Condición de Paro.

59. *“Paro con corte de energía fluídica y mantenimiento de las memorias de control”*: el Paro se logra mediante la supresión de la energía fluídica por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la “caída de la fuente de energía fluídica” (grupo hidráulico o compresor) pero se mantiene el estado interno del subsistema de control.

- a. Se empleará para paralizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores con baja inercia y caudales de diseño bajos. Y que desactivada su Condición de Paro autoriza a continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a rearmar el sistema para comenzar de nuevo.
- b. Su subsistema operativo tiene características similares al caso del “Paro con corte energía fluídica y reseteo de las memorias de control”.
- c. En caso de fallo del control eléctrico, las electroválvulas siempre se situará en posición de reposo o central y el sistema quedará parado y bloqueado. La restauración de la energía no pondrá en funcionamiento la máquina.
- d. No resetea las memorias de control y marcas internas del programa de control. Esto faculta al subsistema de control de capacidad de memoria del estado previo a la parada. Y permitirá, que una vez desactivado la Condición de Paro, el sistema de control autorice a la máquina a continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a realizar el rearme de la máquina a las condiciones iniciales.
- e. La condición de Paro:
  - i. realiza un paro controlado, registrando su estado previo al mismo, y sitúa al sistema en estado seguro.
  - ii. Cuando se activa, inhibe las salidas del autómata (deja sin alimentación a las bobinas de las electroválvulas de los

- distribuidores de potencia). Esto provoca que las actuaciones de los actuadores se anulen y queden bloqueados, si bien, sus órdenes de mando quedarán registradas.
- iii. Como excepción al punto ii, y opcionalmente para el modo de funcionamiento de “un solo ciclo”, la bobina que “Activa/desactiva energía fluídica” se podrá desactivar con la Condición de Paro.
  - iv. Se activa y se memoriza por las siguiente causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por el fallo de energía eléctrica. Mientras se mantenga activadas cualquiera de estas tres causas no será posible salir de su Condición de Paro.
  - v. Para salir de la Condición de Paro se podrá activar la Marcha o el Rearme siempre que las causas que lo provocan desaparezcan o no está activadas.
- f. La Marcha, desactivada la Condición de Paro, iniciará el funcionamiento en el punto donde se encuentra el sistema.
- g. El Rearme, desactivada la Condición de Paro, sitúa al sistema en las condiciones iniciales.
- h. La Condición de Rearme:
- i. sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas. Y esto curre en dos casos: o parando la máquina y, luego, desactivando la condición de Paro o en la puesta en marcha de la máquina cuando sus actuadores no están en su estado inicial.
  - ii. Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada “Rearme”, y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.

- i. Se debe introducir una Condición de Seguridad: implantar un dispositivo de protección humana (un sensor de presencia o interruptor de enclavamiento que detecta la posición de las protecciones fijas o un tapiz, etc.) y que, también, debe activar la condición de parada.

60. *“Paro con mantenimiento de energía fluidica y de las memorias de control”*: En este caso, cuando se solicita el Paro, se mantiene tanto la energía fluidica como el estado interno de subsistema de control.

- a. Se empleará para paralizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores que no presenten grandes inercias y caudales de diseño elevados, y que precisen tiempos de respuesta rápidos y controlar la presión del sistema. Su Condición de Paro, una vez desactivada, permite continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o rearmar el sistema.
- b. En este caso se requiere, con respecto a los casos anteriores, rediseñar la parte operativa de los circuitos electroneumáticos y electrohidráulicos debido a que no se suprime la energía fluidica en los circuitos para realizar el paro.
- c. En el paro y bloqueo de los actuadores no se emplearán válvulas de dos posiciones y se realizará siempre con electroválvulas de tres posiciones:
  - i. con posición libre o abierta (un solo actuador en el circuito) acompañada de válvulas antirretorno pilotadas.
  - ii. y, opcionalmente y para tiempos de retención cortos, con posición central cerrada.
- d. En caso de fallo eléctrico o de energía fluidica, los distribuidores de potencia siempre se situaran en posición de reposo o central y el sistema quedará parado y bloqueado. Y la restauración de tales circunstancias no podrá en funcionamiento la máquina.

- e. El subsistema de control dispone de capacidad de memoria del estado previo de parada. Y por tanto, desactivada la Condición de Paro, el sistema autoriza a poder continuar desde donde estaba o a realizar el rearme.
- f. Este sistema presenta un tiempo de respuesta menor para reiniciar el ciclo o para rearmar la máquina con respecto a los anteriores casos.
- g. La Condición de Paro:
  - i. realiza un paro controlado registrando su estado previo al mismo y sitúa el sistema en estado seguro.
  - ii. Cuando se activa, inhibe las salidas del autómatas (deja sin alimentación a las bobinas de las electroválvulas de los distribuidores de potencia). Esto provoca que las acciones de los actuadores se anulen y queden bloqueados, si bien sus órdenes de mando quedarán registradas.
  - iii. Se activa y se memoriza por las siguientes causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por el fallo de energía eléctrica. Mientras se mantengan activadas cualquiera de estas tres causas, no será posible salir de su Condición de Paro.
  - iv. Para salir de la Condición de Paro se podrá activar la Marcha o el Rearme siempre que las causas que lo provocan desaparezcan o no estén activadas.
- h. La Marcha, desactivada la Condición de Paro, iniciará el funcionamiento en el punto donde se encuentra el sistema.
- i. El Rearme, desactivada la Condición de Paro, sitúa al sistema en las condiciones iniciales.
- j. La Condición de Rearme:
  - i. sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas. Y esto ocurre en dos casos: o parando la

- máquina y, luego, desactivando la condición de Paro o en la puesta en marcha de la máquina cuando sus actuadores no están en su estado inicial.
- ii. Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada “Rearme”, y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.
- k. Se debe introducir las siguientes Condiciones de Seguridad, las cuales deben activar la Condición de Paro:
- iii. implantar un dispositivo de protección humana (un sensor de presencia o interruptor de enclavamiento que detecta la posición de las protecciones fijas o un tapiz, etc.).
  - iv. Un sensor que comprueba la presencia de energía y que verifica una presión de trabajo adecuada.

61. *“Paro con mantenimiento de energía fluidica y de las memorias de control con inercias elevadas”*: En este caso, cuando se solicita el Paro, se mantiene tanto la energía fluidica como el estado interno del subsistema de control pero dispone de un Subsistema de Potencia que garantiza unas condiciones dinámicas y de seguridad adecuadas para condiciones de carga e inercias elevadas.

- a. Se empleará para paralizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores que presenten grandes inercias y caudales de diseño elevados. Y que precisen de tiempos de respuesta rápidos y controlar la presión del sistema. Su Condición de Paro, una vez desactivada, permite continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o rearmar el sistema.
- b. El Subsistema operativo es el encargado de paralizar los actuadores del sistema bajo el control del Subsistema de mando. No se emplea la supresión de energía fluidica y se incorporan elementos de tecnología fluidica para optimizar el comportamiento en el paro.

- c. Para la selección de los distribuidores de potencia se considera:
  - i. que su tipología de accionamiento debe ser servopilotada fluídicamente (electropilotada neumáticamente o hidráulicamente).
  - ii. La sobreposición en la conmutación.
  - iii. Usar “placas de temporización” para el reglaje del tiempo de conmutación en el caso Electrohidráulico.
- d. Los elementos de bloqueo empleados para los actuadores son: las válvulas antirretorno desbloqueables y las válvulas de freno.
- e. Para la función de parada de los actuadores se usan la combinación de electroválvulas monoestables servopilotadas de tres posiciones con posición central libre o abierta (un único actuador) en conjunción con elementos de bloqueo.
- f. Para eliminar las sobrepresiones se emplearán: válvulas limitadoras de presión o válvulas de freno que se tararan entre un 30 y un 50 % por encima de la presión de servicio.
- g. Para eliminar vacíos se emplearán antirretornos con conexión a tanque o la atmosfera.
- h. Para el control de las velocidades de los actuadores se emplean: válvulas reguladoras de caudal y cilindros con amortiguación interna.
- i. Si se escoge, en Electrohidráulica, la “regulación a la salida”: permite una mayor precisión en los ajustes de la velocidad de los actuadores pero, en contrapartida, se producirán los siguientes efectos en el circuito hidráulico:
  - i. efectos multiplicativos de presión en las líneas de retorno, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de escoger elementos y el diseño de la línea,
  - ii. importantes caídas de presión en los elementos reguladores de caudal (consecuencia de los efectos multiplicativos), lo



que generará, el calentamiento excesivo del fluido y del sistema. Por tanto, será necesario diseñar un sistema de refrigeración adecuado.

- j. El programa de control dispondrá de bloques temporizadores que permiten el reglaje de los tiempos de conmutación en los distribuidores de potencia y, en consecuencia, del tiempo de respuesta del sistema. Esto posibilita ajustar el tiempo de conmutación de cada accionamiento del distribuidor, con respecto: a su propia orden de mando, al accionamiento antagónico y a los accionamientos de los otros distribuidores.
- k. En caso de fallo eléctrico o de energía fluidica:
  - i. los distribuidores de potencia siempre se situarán en posición de reposo o central y el sistema quedará parado y bloqueado. Y la restauración de tal circunstancia no pondrá en funcionamiento la máquina.
  - ii. el uso de bloques temporizadores, en el programa de control, no minimiza el efecto del corte. Y será la sobreposición del distribuidor, sus elementos auxiliares (como la placa temporizadora), las válvulas limitadoras de presión y de freno y los antirretornos montados en el circuito los encargados de hacerlo.
- l. La condición de Paro:
  - i. Realiza un paro controlado registrando su estado previo al mismo y sitúa el sistema en estado seguro.
  - ii. Cuando se activa, inhibe las salidas del autómata (deja sin alimentación a las bobinas de las electroválvulas de los distribuidores de potencia). Esto provoca que las actuaciones de los actuadores se anulen y queden bloqueados, si bien sus órdenes de mando quedarán registradas.

- iii. Se activa y se memoriza por las siguientes causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por fallo de la energía eléctrica. Mientras se mantengan activadas cualquiera de estas tres causas, no será posible salir de su Condición de Paro.
- iv. Para salir de la Condición de Paro se podrá activar la Marcha o el Rearme siempre que las causas que lo provocan desaparezcan o no estén activadas.
- m. La Marcha, desactivada la Condición de Paro, iniciará el funcionamiento en el punto donde se encuentra el sistema.
- n. El Rearme, desactivada la Condición de Paro, sitúa al sistema en las condiciones iniciales.
- o. La Condición de Rearme:
  - i. sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas. Y esto ocurre en dos casos: o parando la máquina y, luego, desactivando la condición de Paro o en la puesta en marcha de la máquina cuando sus actuadores no están en su estado inicial.
  - ii. Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada “Rearme”, y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.
- p. Se deben introducir las siguientes Condiciones de Seguridad, las cuales deben activar la Condición de Paro:
  - i. implantar un dispositivo de protección humana (un sensor de presencia o interruptor de enclavamiento que detecta la posición de las protecciones fijas o un tapiz, etc.).
  - ii. Un sensor que comprueba la presencia de energía y que verifica una presión de trabajo adecuada.

**En cuanto al Método secuencial mínimo:**

62. Consiste en dividir la secuencia en grupos de salida de señal, de modo que cada grupo abarque el máximo de órdenes de mando consecutivos y no antagónicas. A cada grupo se le asignará una única memoria auxiliar tipo biestable RS, de forma que cuando un grupo esta operativo, porque su memoria auxiliar esta activada, el resto de los grupos están inhabilitados.
63. Garantiza que no se producirá ni simultaneidad de señales ni semejanza de ordenes, al no existir ordenes contrarias en el grupo y disponer cada grupo de su memoria auxiliar identificativa.
64. Existen dos posibilidades para la definición de las ordenes de mando:
- i. la solución que se desarrolla con las entradas que confirman la ejecución de la fase.
  - ii. la solución que resuelve mediante las entradas que están presentes al iniciarse la fase.
65. Para crear los grupos se puede realizar de dos formas:
- i. Con el diagrama desplazamiento-fase simplificado. Luego, se divide la secuencia en el menor número de grupos de salida, de forma que en las distintas agrupaciones no contengan órdenes de mando idénticas. Y los grupos, primero y último, no se combinan.
  - ii. Es realizar la representación en texto simplificada de la secuencia. Y dividirla de modo que se agrupen aquellos movimientos de los actuadores que no repiten letra, con la salvedad del último movimiento que se separa, siempre, del primer grupo
66. Consolida la puesta en marcha, ya que sólo es posible cuando:
- i. exista una orden de condición de marcha "CM".
  - ii. la cadena secuencial se ha desarrollado hasta la última fase y, como consecuencia, al finalizar el ciclo todos los actuadores quedarán situados en condiciones iniciales.

- iii. Y, lógicamente, las condiciones de parada o de seguridad no están activadas
67. Preserva que no pueda ser activada otra orden de condición de marcha durante el proceso de evolución de la secuencia
68. Se aplica el Procedimiento predefinido de las memorias de control, expuesto en esta Tesis, para el control de los distribuidores de potencia con objeto de memorizar órdenes y sus efectos.
69. Opcionalmente, si bien se prefiere el criterio del punto 68, se podría prescindir de la memorias de control sobre los distribuidores de potencia en tres casos:
- i. Cuando el distribuidor empleado es de tipología biestable y, por tanto, dispone de capacidad para memorizar la orden de mando.
  - ii. Aquellos elementos de trabajo (p. ej. cilindros) donde sus movimientos antagónicos son consecutivos y la tipología de los distribuidores de potencia empleados son de dos posiciones y monoestables.
  - iii. Aquellos elementos de trabajo gobernados por distribuidores de potencia de tres posiciones y cuya posición central de reposo conjuntamente con el circuito fluídico implementado permitan retener y sujetar el actuador de manera segura.

***En cuanto al Método secuencial máximo:***

70. La configuración del sistema secuencial máximo, aporta a mayores con respecto al secuencial mínimo, el momento en que la señal de entrada y salida deben estar operativas. De esta forma, “una orden que no corresponda a un momento dado en la secuencia no funcionará”. Así como, si cualquier orden del sistema no es notificada y verificada por el controlador, entonces, el sistema se paraliza y no actúa.

71. Las características del Sistema Secuencial Máximo, son:

- i. *Divide la secuencia en tanto grupos como etapas de la misma.* Lógicamente, como sólo puede haber un grupo activado al mismo tiempo, esto garantiza una única salida y la inexistencia de problemas de señales permanentes sobre los distribuidores de potencia empleados.
- ii. *En él cada grupo y, por tanto, cada etapa depende siempre del precedente además de los acontecimientos o prescripciones.* De esta forma, las salidas dependen de las entradas en dicho instante y de la historia pasada de las entradas.
- iii. *Se definen las condiciones de transición de cada etapa como “los acuses” de que las acciones de las salidas han sido correctamente realizadas.*
- iv. *Su característica de ejecución es que el sistema progresa “etapa a etapa”.* Sólo será posible el cambio de grupo si el grupo anterior y su condición de transición están activadas, es decir, que se han cumplido correctamente.
- v. *Se caracteriza por su sistematización y seguridad a la hora de proyectar:* la estructura del algoritmo se asienta sobre bloques que contienen siempre el mismo concepto lógico. Esto facilita de manera ostensible el camino de la solución aunque sea algo más largo que el generado por los métodos anteriormente estudiados.

72. Para crear los grupos se puede realizar de dos formas:

- i. *Con el diagrama espacio-fase y de mando o el diagrama desplazamiento-fase simplificado.* Se divide a la secuencia en tanto grupos como etapas de la misma. Y los grupos primero y último no se combinan.
- ii. *Realizando la representación en texto simplificada de la secuencia y dividirla en tantos grupos como etapas.* Y el último movimiento se separa del primer grupo.

73. Garantiza y salvaguarda:

- i. que la secuencia sólo puede iniciar una etapa cuando han acontecido las precedentes.
- ii. Que cualquier orden de mando no será operativa hasta encontrarse en su etapa de ejecución.
- iii. De los puntos i y ii: que durante el proceso de evolución de la secuencia la condición de marcha no se activará hasta que finalice el proceso o el sistema esté en condiciones iniciales

74. Aumenta de manera ostensible la seguridad implícita del diseño ya que las salidas, en cualquier instante, dependen de las entradas en dicho instante y de la historia pasada de las entradas.

### 8.3 Conclusiones Finales

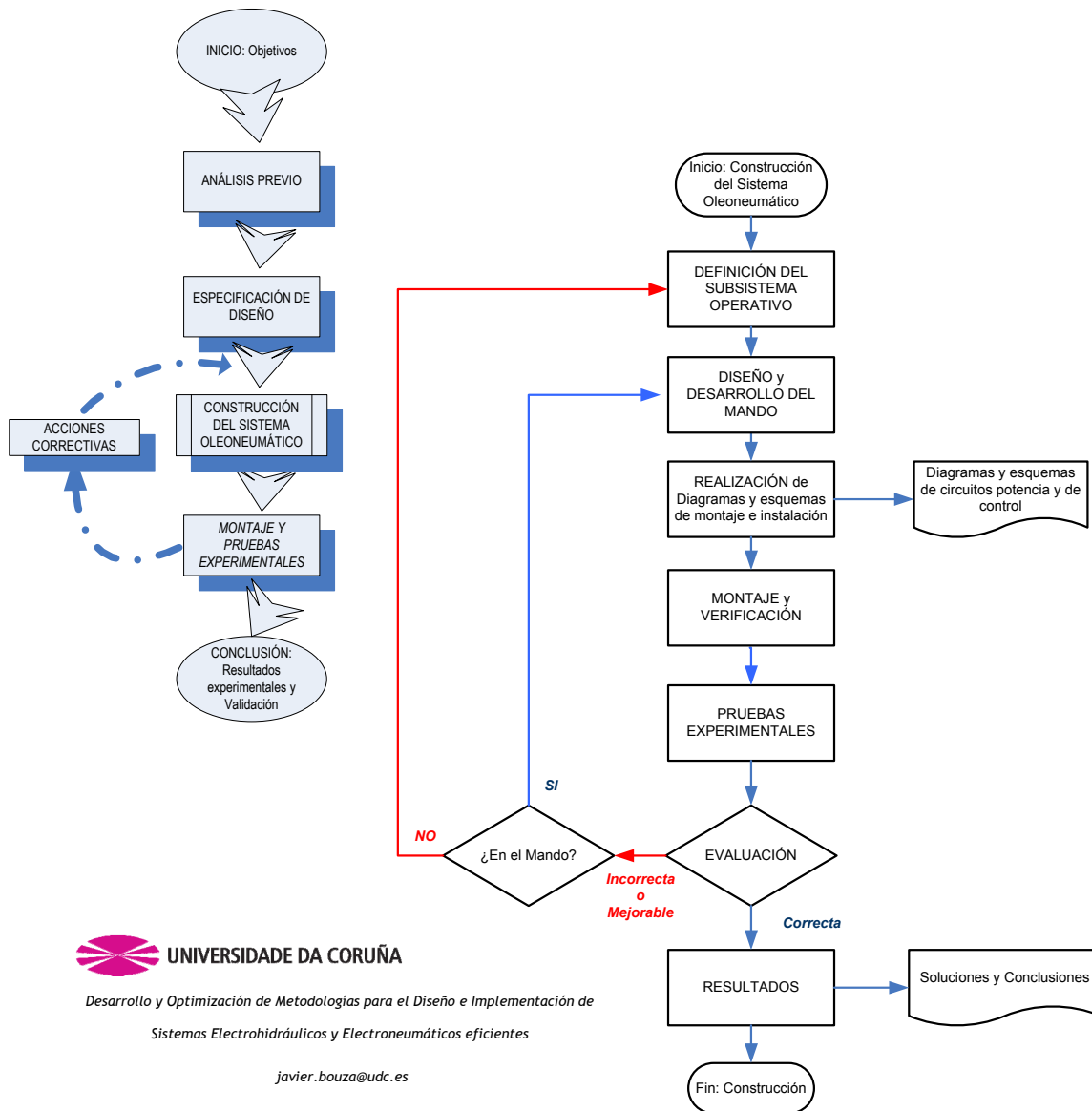
Los objetivos marcados en el capítulo II han sido cubiertos ampliamente. A lo largo de este trabajo se han aportado una serie de criterios, procedimientos y métodos contrastados experimentalmente y que ofrecen excelentes resultados para ser aplicados al ámbito industrial.

A modo de énfasis y resumen, se presenta:

1. El procedimiento de trabajo que permite desarrollar la ingeniería de diseño e implementación de forma eficiente y fructífera.
2. Los flujogramas y procedimientos que fundamentan las cuatro metodologías sistemáticas de carácter universal, dos combinacionales y dos secuenciales, que permiten el diseño e implementación de una manera más eficiente y segura de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos industriales gobernados por controladores digitales programables.
3. Los “Bloques de Función definidos” que son un recurso que permitirá implementar el programa de mando en los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos con controladores digitales de forma tecnificada y centralizada evitando errores y reduciendo tiempo y costes.

### 8.3.1 Resumen del Procedimiento de Trabajo

#### 8.3.1.1 Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático

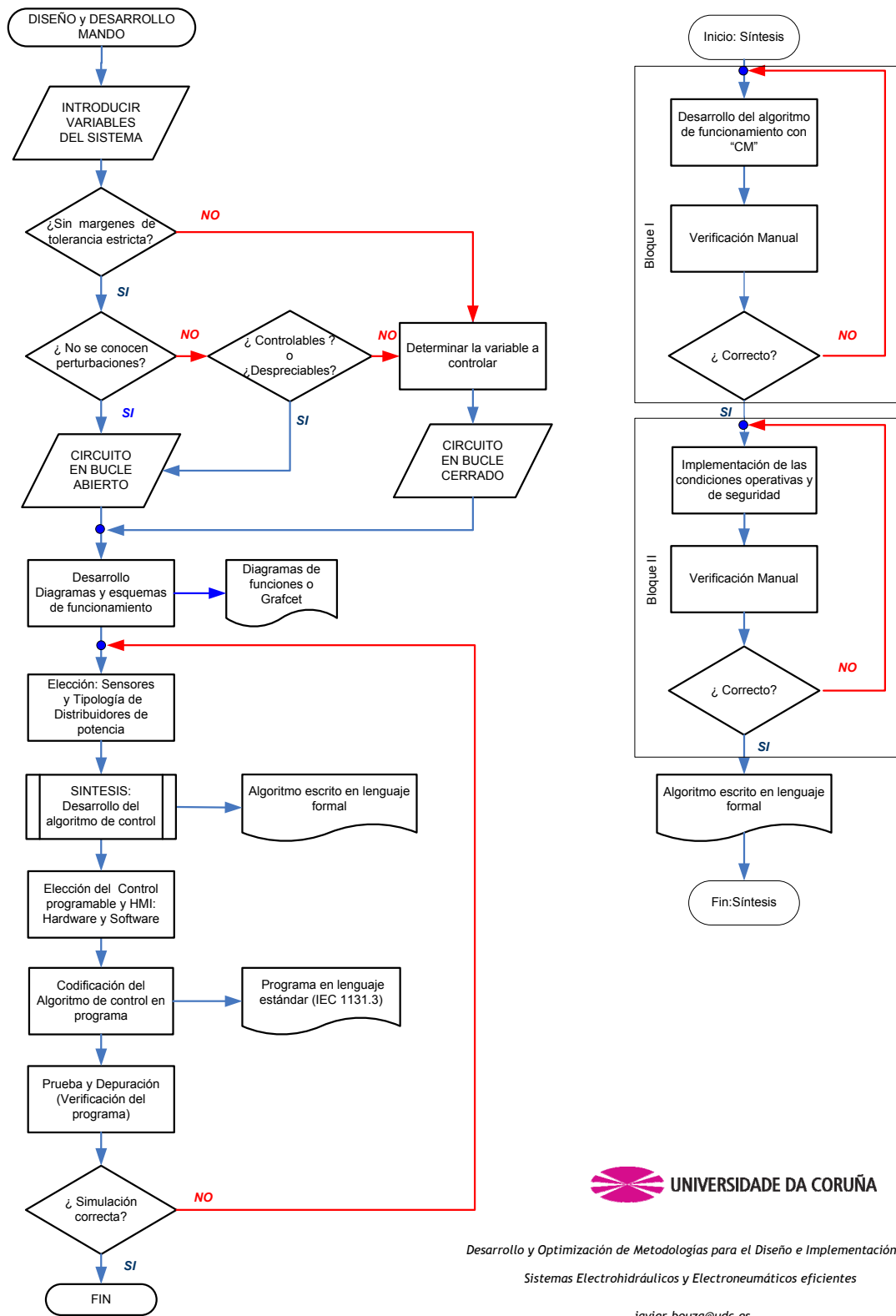


**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**  
 Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de  
 Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes  
 javier.bouza@udc.es

Figura 8.3.1.1.- Flujograma de la Metodología de Construcción del Sistema Oleoneumático.



8.3.1.2 Metodología de Diseño y de Desarrollo del Mando



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 8.3.1.2.- Flujoograma de la Metodología de Diseño y de Desarrollo del Mando.

8.3.2 Resumen de las Metodologías Sistemáticas de diseño e implementación.

8.3.2.1 Procedimiento para definir las Entradas

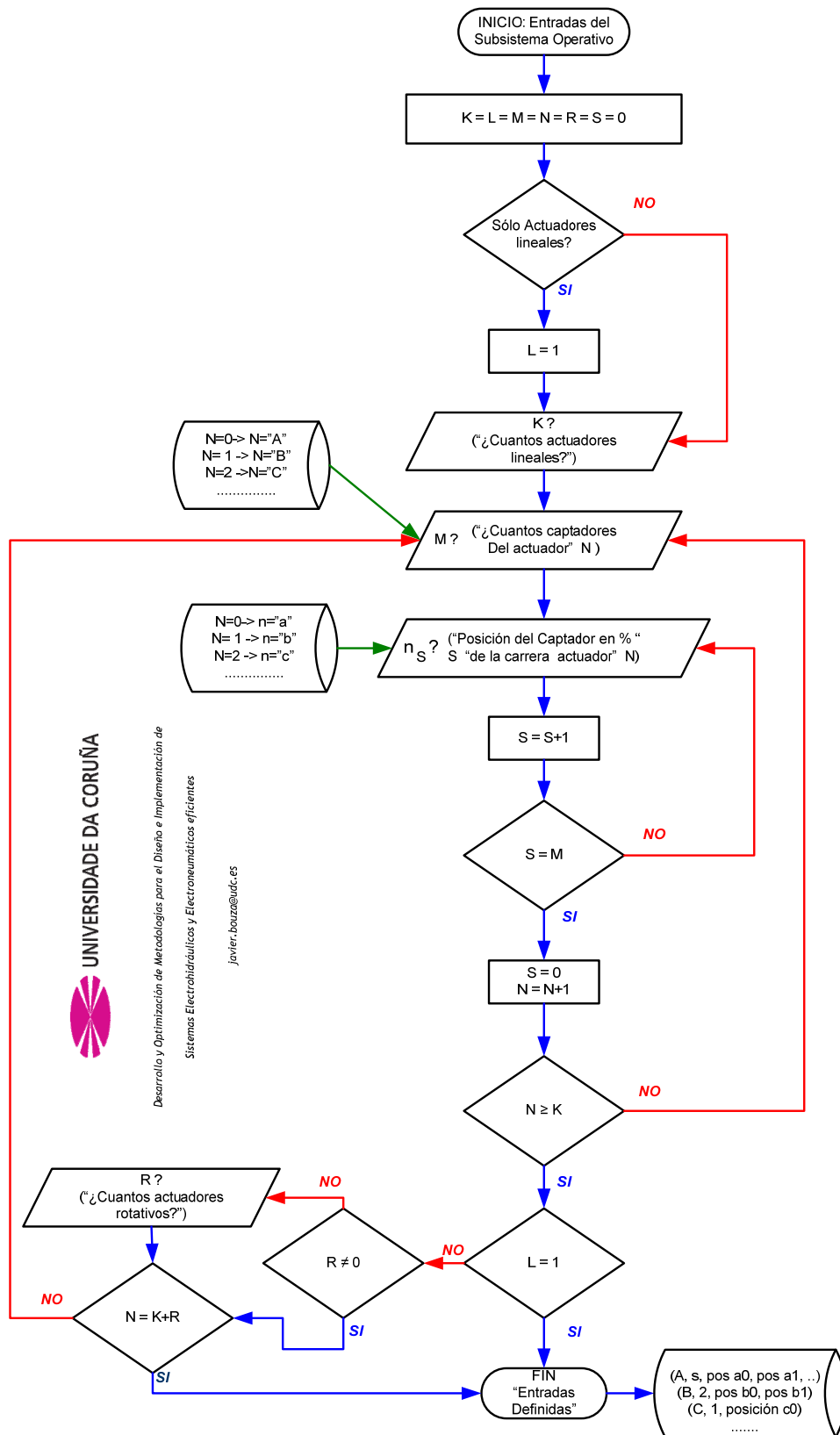
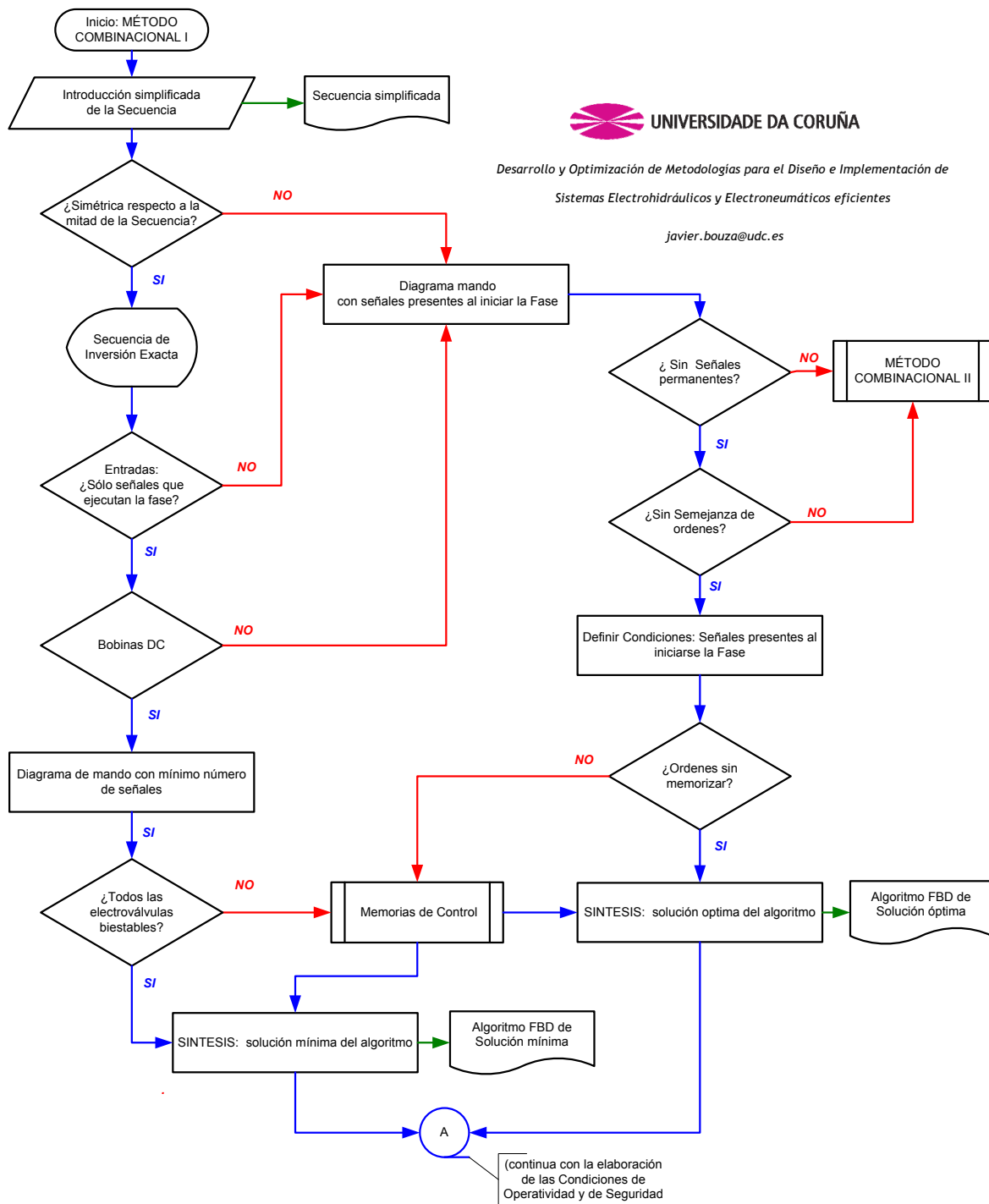


Figura 8.3.2.1.- Procedimiento para definir las Entradas de posición del Subsistema Operativo.

8.3.2.2 Método combinacional I



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

Figura 8.3.2.2.- Flujograma del Método Combinacional I

8.3.2.3 Procedimiento predefinido de Memorias de Control

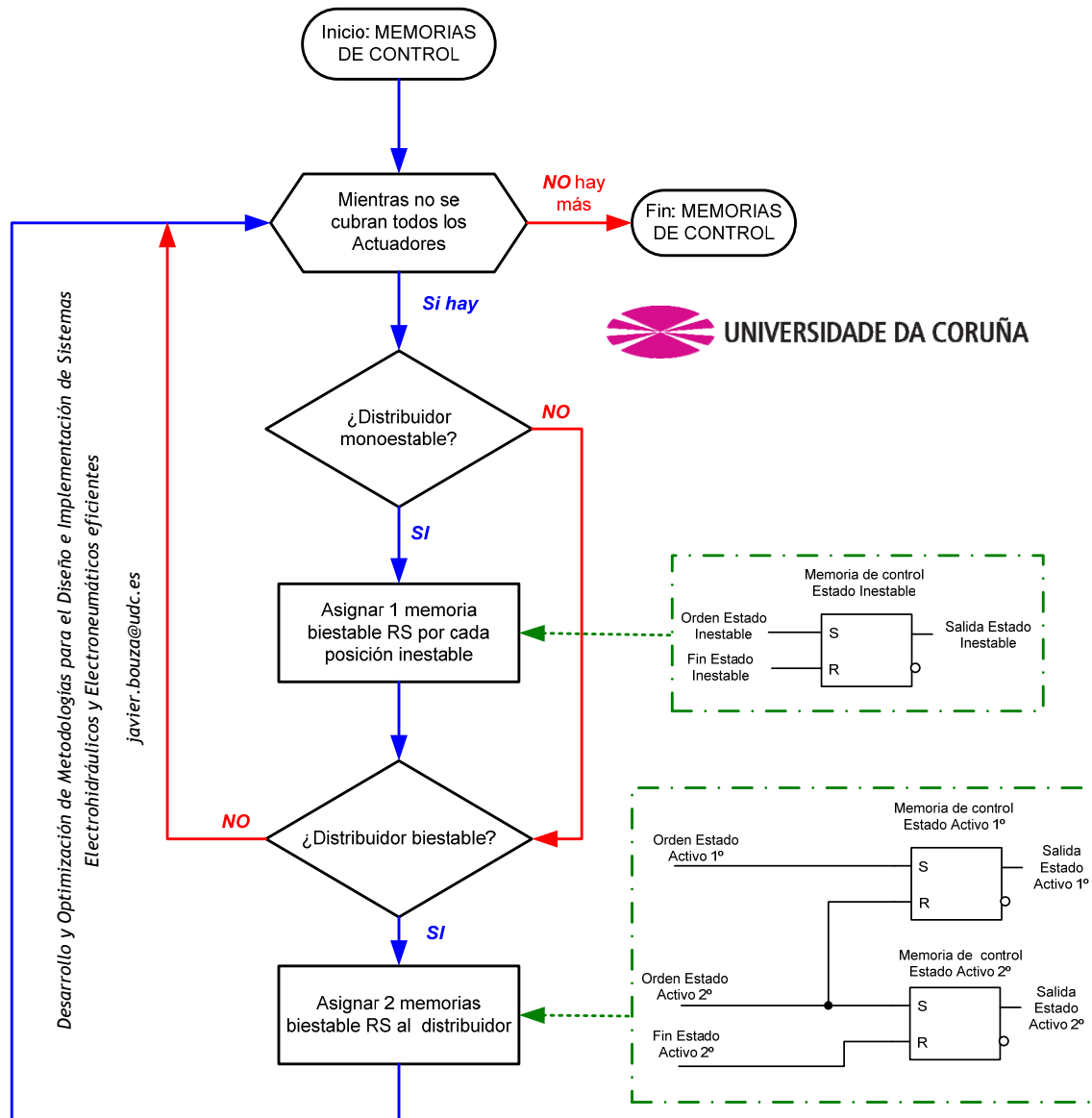


Figura 8.3.2.3.- Flujoograma del Procedimiento predefinido de las Memorias de Control.

8.3.2.4 Método Combinacional II

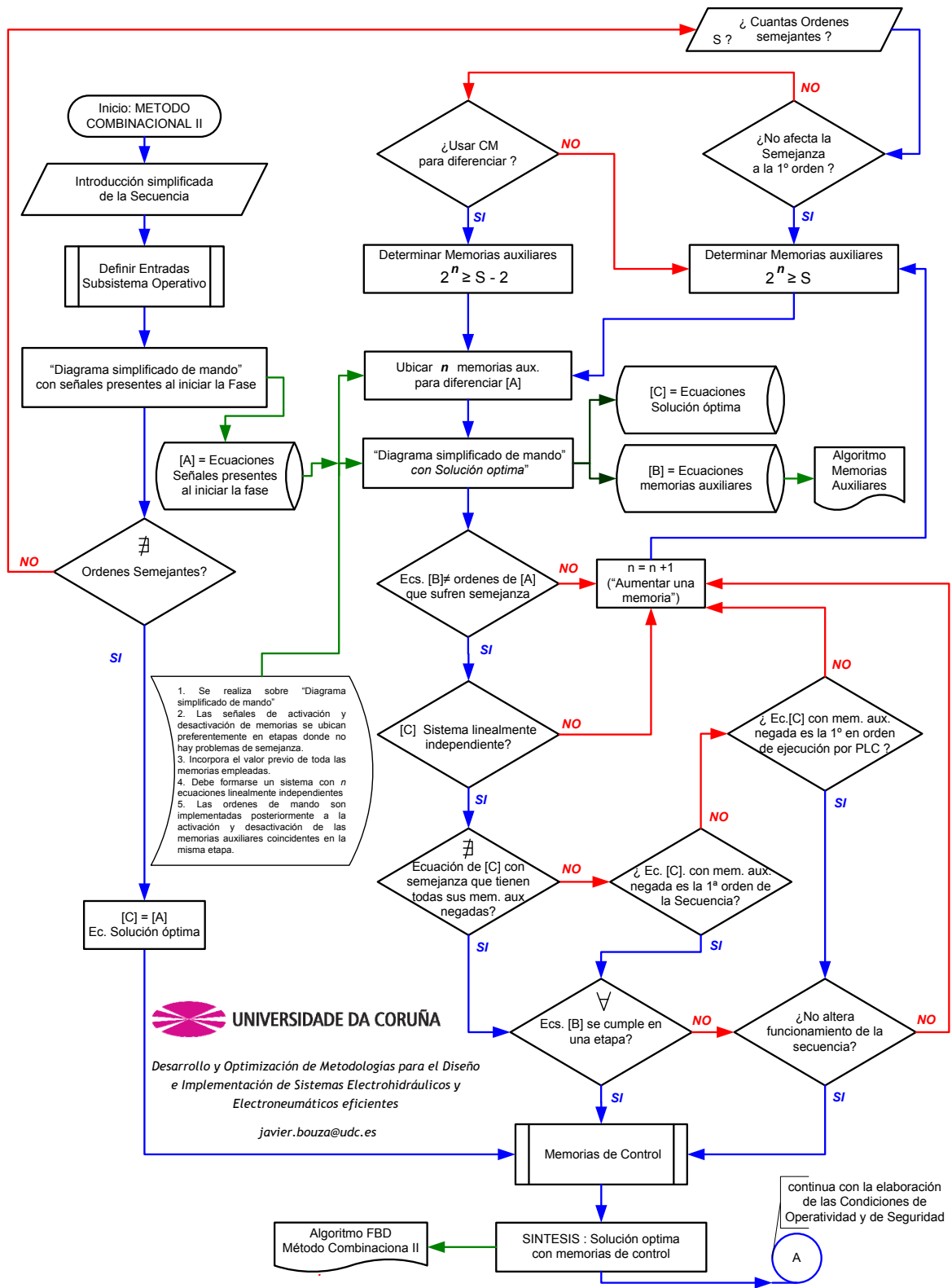
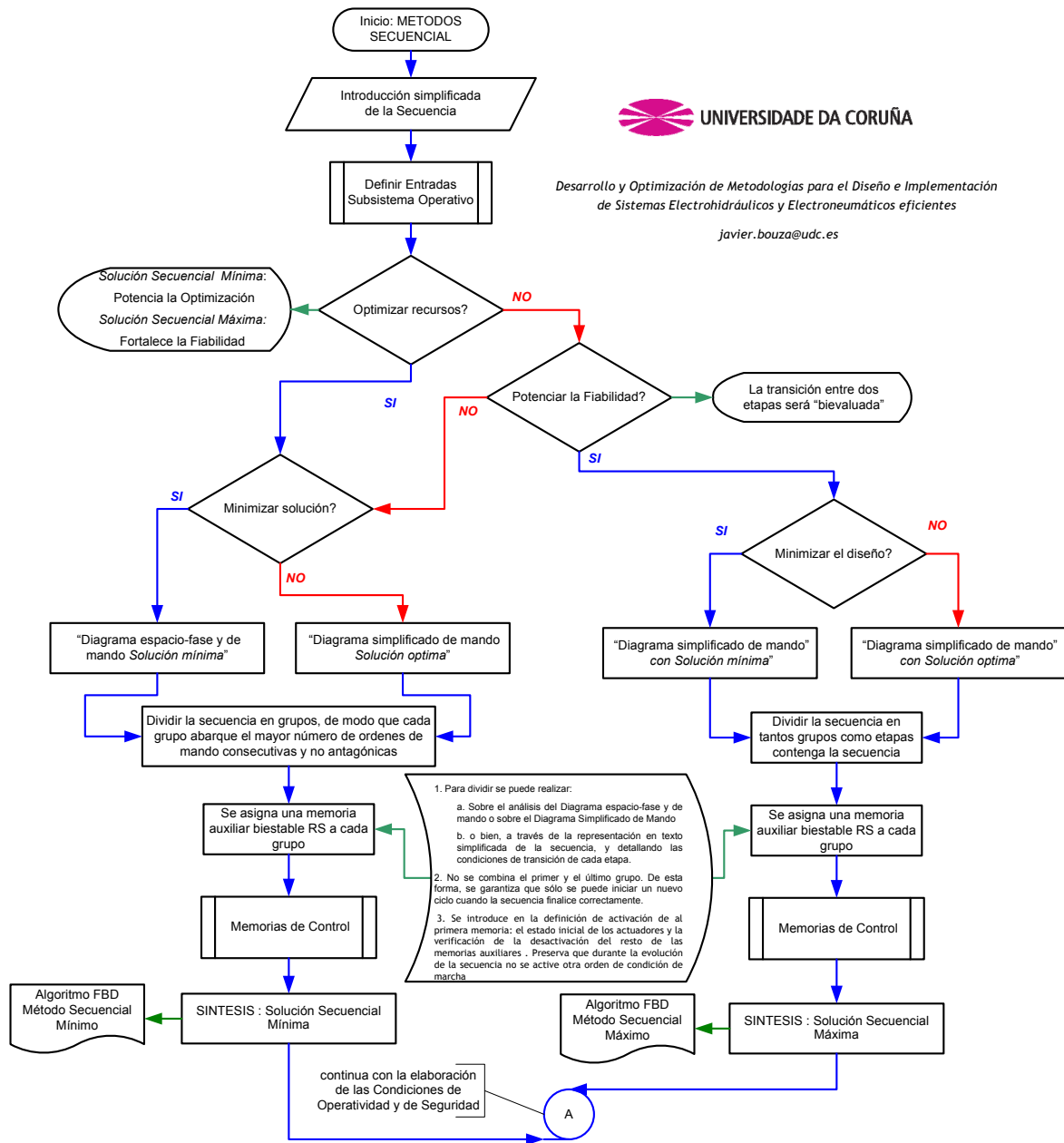


Figura 8.3.2.4.- Flujograma del Método Combinacional II

8.3.2.5 Métodos: Secuencial Mínimo y Secuencial Máximo



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

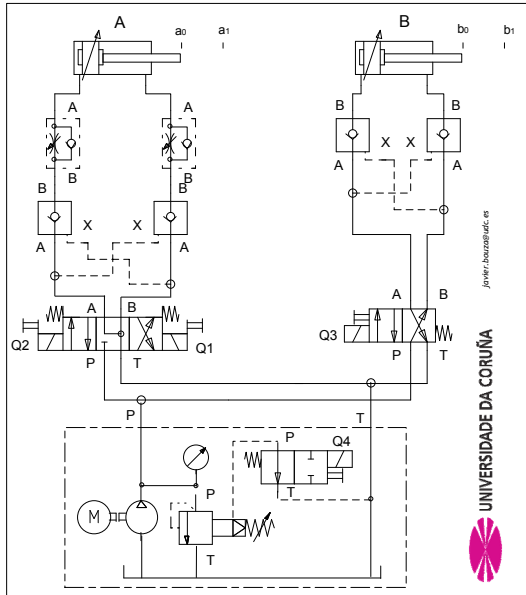
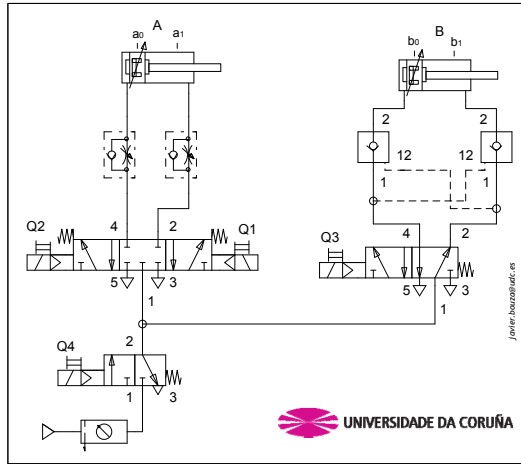
javier.bouza@udc.es

Figura 8.3.2.5.- Flujoograma del Método Secuencial Mínimo y Máximo

### 8.3.2.6 Condiciones de Operatividad y de Seguridad

**Paro con corte de energía fluidica y reseteo de las memorias de control**

El Paro se logra mediante la supresión de la energía fluidica por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la "caída de la fuente de energía fluidica" (grupo hidráulico o compresor).



**Subsistema de Potencia**

a. Se empleará para paralizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores con baja inercia y caudales de diseño bajos y que desactivada la Condición de Paro sólo autoriza a rearmar el sistema para comenzar de nuevo el ciclo.

b. La supresión y activación de la energía fluidica se implementa:

- i. En electroneumática: con una electroválvula monoestable 3/2 servopilotada NC que corta el suministro de aire.
- ii. En electrohidráulica: mediante una válvula limitadora de presión con "venting" (o "descarga a baja presión"). El venting se desactiva con una electroválvula 2/2 NA.

c. El paro y bloqueo de los actuadores se realizará:

- i. en electroválvulas de tres posiciones y tiempos de retención cortos, escogiendo una posición central cerrada del distribuidor; y en el caso de tiempos mayores, escogiendo una posición central libre o abierta (un solo actuador en el circuito) del distribuidor y acompañándola de válvulas antirretornos desbloqueables.
- ii. En electroválvulas de dos posiciones, con válvulas antirretorno desbloqueables.

d. En caso de fallo de control eléctrico, las electroválvulas siempre se situará en posición de reposo o central y el sistema quedará parado y bloqueado. La restauración de la energía no podrá en funcionamiento la máquina.

**Subsistema de Control**

e. La Condición Paro:

- i. Realiza un paro controlado y sitúa al sistema en estado seguro.
- ii. Se activa y se memoriza por las siguientes causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por fallo de energía eléctrica. Mientras se mantenga activadas cualquiera de estas tres causas, no será posible salir de su Condición de Paro.
- iii. Para salir de la Condición de Paro se activará el Rearme y sólo es posible si las causas que lo provocan desaparecen o no están activadas.
- iv. Resetea las memorias de control y marcas internas de Programa de control. Por tanto, el subsistema de mando no dispone de registro del estado previo al paro. Una vez desactivado la Condición de Paro, sólo será posible, el rearme del sistema para poder iniciar de nuevo la marcha.

f. La Condición de Rearme:

- i. sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas.
- ii. Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada "Rearme", y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.

g. Condición de Seguridad: dispositivo de protección humana que activa la Condición de Paro.

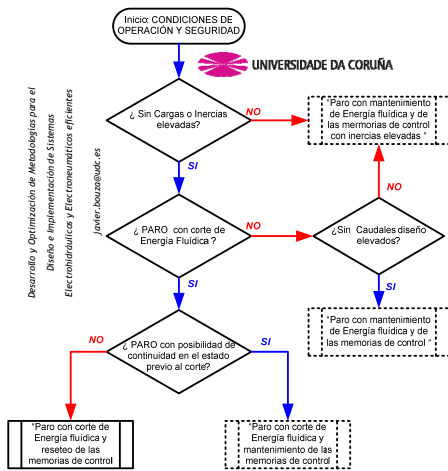
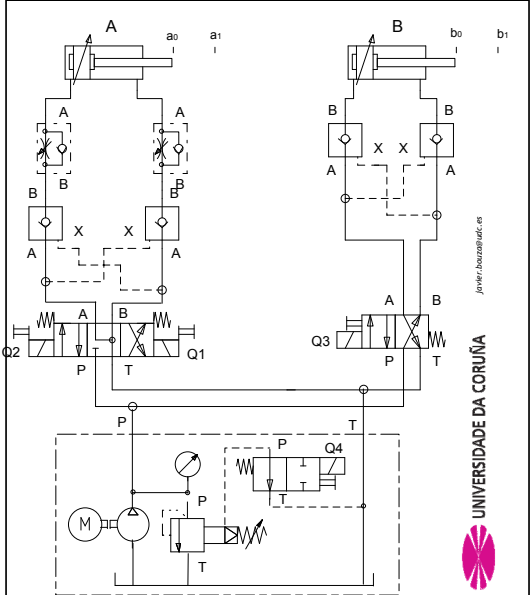
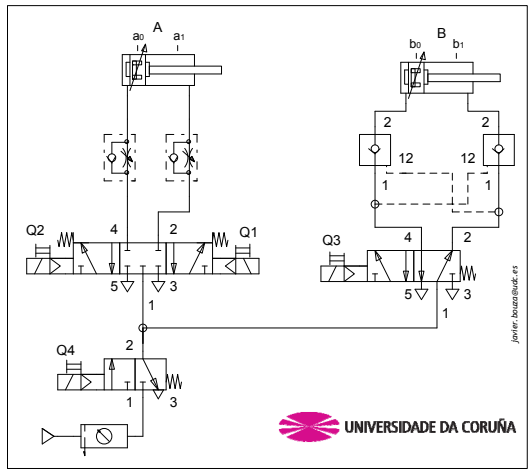


Figura 8.3.2.6.1.- Caso I: Paro con corte de energía fluidica y reseteo de las memorias de control.

**Paro con corte de energía fluidica y mantenimiento de las memorias de control**

*El Paro se logra mediante la supresión de la energía fluidica por la desconexión de la energía eléctrica de control o por la "caída de la fuente de energía fluidica" (grupo hidráulico o compresor) pero se mantiene el estado interno del subsistema de control.*



- Subsistema de Potencia**
- Se empleará para paratizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores con baja inercia y caudales de diseño bajos. Y que desactivado su Condición de Paro autoriza a continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a rearmar el sistema para comenzar de nuevo.
  - La supresión y activación de la energía fluidica se implementa:
    - En electroneumática: con una electroválvula monoestable 3/2 servopilotada NC que corta el suministro de aire.
    - En electrohidráulica: mediante una válvula limitadora de presión con "venting" (o "descarga a baja presión"). El venting se desactiva con una electroválvula 2/2 NA.
  - El paro y bloqueo de los actuadores se realizará:
    - en electroválvulas de tres posiciones y tiempos de retención cortos, escogiendo una posición central cerrada del distribuidor; y en el caso de tiempos mayores, escogiendo una posición central libre o abierta (un solo actuador en el circuito) del distribuidor y acompañándola de válvulas antirretornos desbloqueables.
    - En electroválvulas de dos posiciones, con válvulas antirretorno desbloqueables.
  - En caso de fallo de control eléctrico, las electroválvulas siempre se situará en posición de reposo o central y el sistema quedará parado y bloqueado. La restauración de la energía no podrá en funcionamiento la máquina.

- Subsistema de Control**
- El subsistema de control dispone de capacidad de memoria del estado previo a la parada: No resetea las memorias de control y marcas internas del Programa de control. Y permitirá que una vez desactivada la Condición de Paro, el sistema de control autorice a la máquina a continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a realizar el rearme de la máquina a las condiciones iniciales.
  - La condición de Paro:
    - Realiza un paro controlado registrando su estado previo al mismo y sitúa al sistema en estado seguro.
    - Cuando se activa, inhibe las salidas del autómat (deja sin alimentación a las bobinas de las electroválvulas de los distribuidores de potencia). Esto provoca que las actuaciones de los actuadores se anulen y queden bloqueados, si bien sus ordenes de mando quedarán registrados.
    - Como excepción al punto ii, y opcionalmente para el modo de funcionamiento de "solo ciclo", la bobina "Activa/desactiva energía fluidica" se podrá desactivar con la Condición de Paro.
    - Se activa y se memoriza por las siguientes causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por fallo de energía eléctrica. Mientras se mantenga activadas cualquiera de estas tres causas, no será posible salir de su Condición de Paro.
    - Para salir de la Condición de Paro se podrá activar la Marcha o el Rearme siempre que las causas que lo provocan desaparezcan o no está activadas.
  - La Marcha, y desactivada la Condición de Paro, iniciará el funcionamiento en el punto donde se encuentra el sistema.
  - El Rearme, y desactivada la Condición de Paro, inicia el Rearme del sistema.
  - La Condición de Rearme:
    - sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas.
    - Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada "Rearme", y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.
  - Condición de Seguridad: dispositivo de protección humana que activa la Condición de Paro

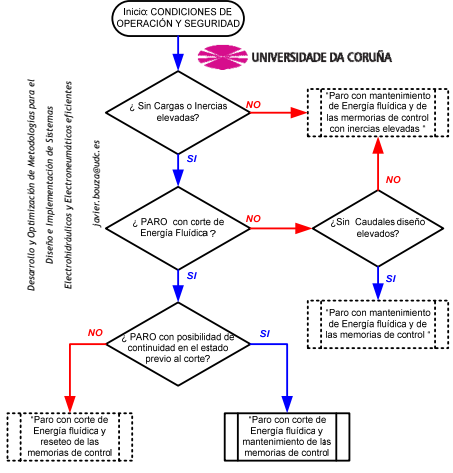
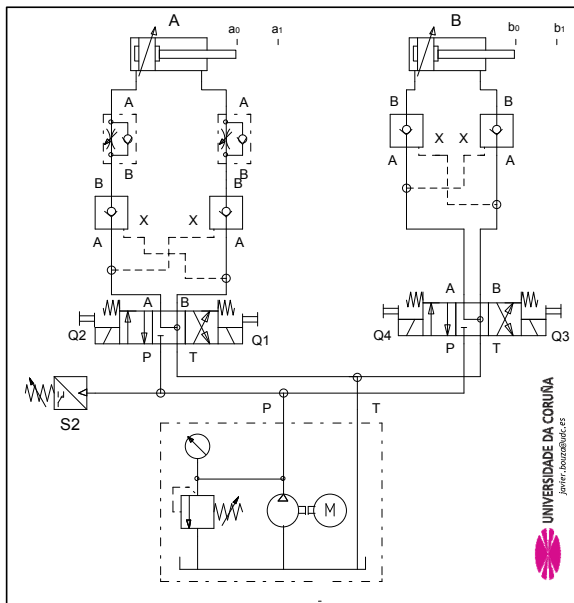
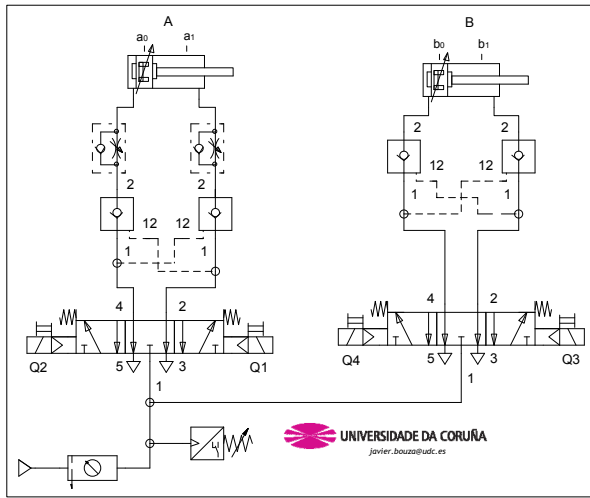


Figura 8.3.2.6.2.- Caso II: Paro con corte de energía fluidica y mantenimiento de las memorias de control.



**Paro con mantenimiento de energía fluidica y de las memorias de control**

*El Paro se logra sin suprimir la energía fluidica y mediante el diseño del Subsistema de Potencia . Se mantiene el estado interno del subsistema de control.*



**Subsistema de Potencia**

a. Se empleará para paralizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores que no presenten grandes inercias y caudales de diseño elevados. Y que precisen tiempos de respuesta rápidos y controlar la presión del sistema. Su Condición de Paro, una vez desactivada, permite continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o rearmar el sistema.

b. En el paro y bloqueo de los actuadores no se emplearán válvulas de dos posiciones y se realizará siempre con electroválvulas de tres posiciones:

- i. con posición libre o abierta (un solo actuador en el circuito) acompañada de válvulas antirretornos pilotados;
- ii. y, opcionalmente y para tiempos de retención cortos, con posición central cerrada.

c. En caso de fallo eléctrico o de energía fluidica, los distribuidores de potencia siempre se situaran en posición de reposo o central y el sistema quedará parado y bloqueado. Y la restauración de tales circunstancias, no podrá en funcionamiento la máquina.

**Subsistema de Control**

d. Subsistema de control dispone de capacidad de memoria del estado previo de parada. Y por tanto, desactivado la Condición de Paro, el sistema autoriza a poder continuar desde donde se estaba o realizar el rearme.

e. Este sistema presenta un tiempo de respuesta menor para reiniciar el ciclo o para rearmar la máquina con respecto a los anteriores casos.

c. La condición de Paro:

- i. Realiza un paro controlado registrando su estado previo al mismo y sitúa al sistema en estado seguro.
- ii. Cuando se activa, inhibe las salidas del autómatas (deja sin alimentación a las bobinas de las electroválvulas de los distribuidores de potencia). Esto provoca que las actuaciones de los actuadores se anulen y queden bloqueados, si bien sus ordenes de mando quedarán registradas.
- iii. Se activa y se memoriza por las siguientes causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por fallo de energía eléctrica. Mientras se mantenga activadas cualquiera de estas tres causas, no será posible salir de su Condición de Paro.
- iv. Para salir de la Condición de Paro se podrá activar la Marcha o el Rearme siempre que las causas que lo provocan desaparezcan o no está activadas.

d. La Marcha, y desactivada la Condición de Paro, iniciará el funcionamiento en el punto donde se encuentra el sistema.

e. El Rearme, y desactivada la Condición de Paro, inicia el Rearme del sistema.

f. La Condición de Rearme:

- i. sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas. Y esto corre en dos casos: o parando la máquina y, luego, desactivando la condición de Paro o en la puesta en marcha de la máquina cuando sus actuadores no están en su estado inicial.
- ii. Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada "Rearme", y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.

g. Se debe introducir las siguientes Condiciones de Seguridad, las cuales deben activar la Condición de Paro:

- i. implantar un dispositivo de protección humana (un sensor de presencia o interruptor de enclavamiento que detecta la posición de las protecciones fijas o un tapiz, etc.).
- ii. un sensor que comprueba la presencia de energía y que verifica una presión de trabajo adecuada.

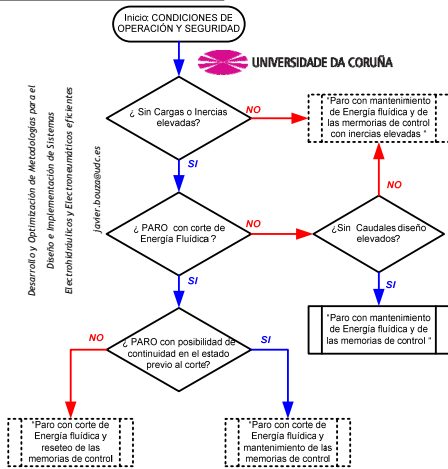
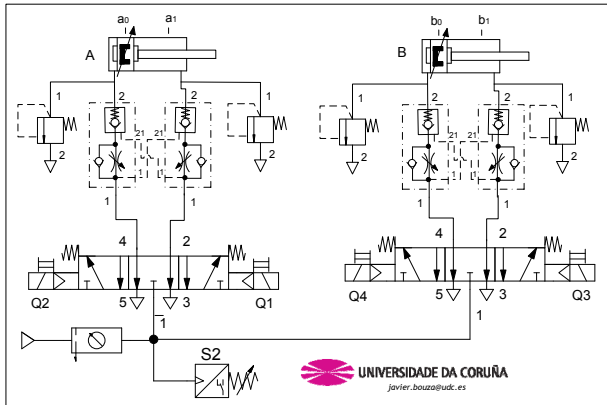


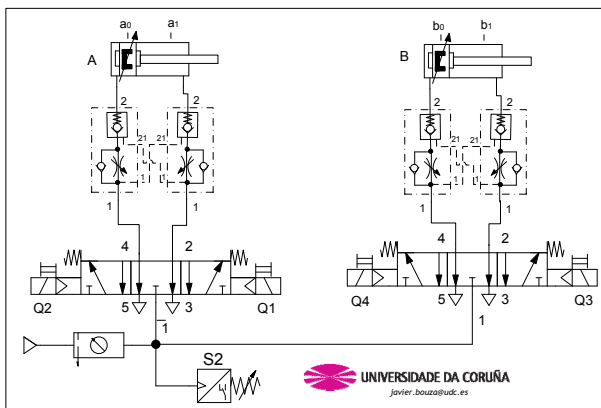
Figura 8.3.2.6.3- Caso III: Paro con mantenimiento de la energía fluidica y memorias de control.

**Paro con mantenimiento de energía  
flúidica y de las memorias de control  
con inercias elevadas**

*El Paro se logra sin suprimir la energía flúidica y mediante el diseño del Subsistema de Potencia que garantiza unas condiciones dinámicas y de seguridad adecuadas para inercias y cargas elevadas. Se mantiene estado interno del subsistema de control.*



Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes  
javier.bouza@udc.es



Subsistema de Potencia

- a. Se empleará para paralizar y bloquear de manera segura los circuitos con actuadores que presenten grandes inercias y caudales de diseño elevados. Y que precisen tiempos de respuesta rápidos y controlar la presión del sistema. Su Condición de Paro, una vez desactivada, permite continuar desde donde estaba en el momento de producirse la parada o a rearmar el sistema.
- b. El subsistema operativo es el encargado de paralizar los actuadores del sistema bajo el control del subsistema de mando. No se emplea la supresión de energía flúidica y se incorporan elementos de tecnología flúidica para optimizar el comportamiento en el paro.
- c. Para la selección de los distribuidores de potencia:
  - i. Su tipología de accionamiento debe ser servopilotada flúidicamente (electropilotada neumática o hidráulicamente).
  - ii. se estudiará la sobreposición en la conmutación.
  - iii. Y en caso, electrohidráulico, se les montará "placas de temporización" para el reglaje del tiempo de conmutación.
- d. Los elementos de bloqueo empleados, para los actuadores, son: las válvulas antirretorno desbloqueables y las válvulas de freno.
- e. Para la función de parada de los actuadores se usan la combinación de electroválvulas monoestable de tres posiciones con posición central libre o abierta (un único actuador) servopilotados en conjunción con elementos de bloqueo.
- f. Para eliminar sobrepresiones se emplearán: válvulas limitadoras de presión o válvulas de freno que se tararan entre un 30 y el 50 % por encima de la presión de servicio.
- g. Para eliminar vacíos se emplearán antirretornos con conexión a tanque o la atmosfera.
- h. Para el control de las velocidades de los actuadores se emplean: válvulas reguladoras de caudal y cilindros con amortiguación interna.
- i. Si se escoge, en electrohidráulica, "regulación a la salida". Esto permite una mayor precisión en los ajustes de la velocidad de los actuadores pero, en contrapartida, se producirán en el circuito hidráulico los siguientes efectos:
  - i. efectos multiplicativos de presión en las líneas de retorno, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de escoger elementos y el diseño de la línea,
  - ii. e importante caídas de presión en los elementos reguladores de caudal (consecuencia de los efectos multiplicativos), lo que generará, calentamiento importante del fluido y del sistema. Por tanto, es necesario, diseñar un sistema de refrigeración adecuada.
- j. En caso de fallo eléctrico o de energía flúidica:
  - i. los distribuidores de potencia siempre se situaran en posición de reposo o central y el sistema quedará parado y bloqueado. Y la restauración de tales circunstancias, no podrá en funcionamiento la máquina.
  - ii. Y el uso de bloques temporizadores, en el programa de control, no minimiza el efecto del corte. Y será la sobreposición del distribuidor, sus elementos auxiliares (como la placa temporizadora), las válvulas limitadoras de presión y de freno y los antirretornos montados en el circuito los encargados de hacerlo.

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

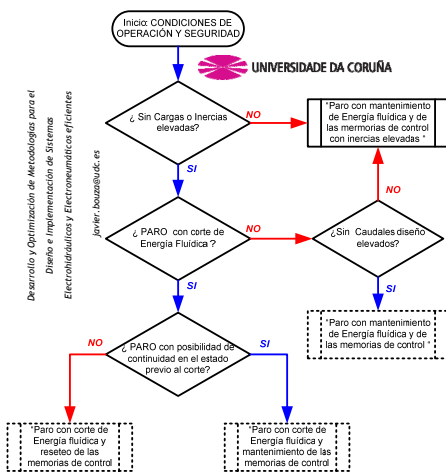
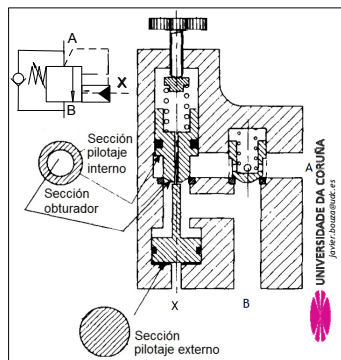
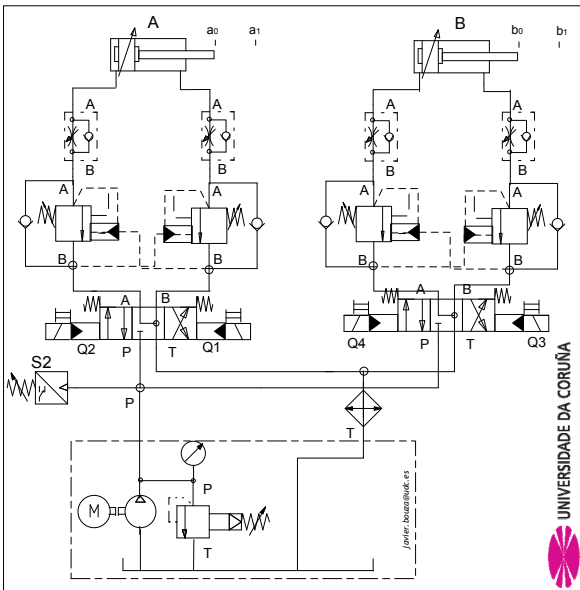


Figura 8.3.2.6.4.- Caso IV: Paro con mantenimiento de la energía flúidica y memorias de control con inercias elevadas - Electroneumática.

**Paro con mantenimiento de energía fluidica y de las memorias de control con inercias elevadas**

*El Paro se logra sin suprimir la energía fluidica y mediante el diseño del Subsistema de Potencia que garantiza unas condiciones dinámicas y de seguridad adecuadas para inercias y cargas elevadas. Se mantiene estado el interno del subsistema de control.*



**Subsistema de Control**

k. El programa de control dispondrá de bloques temporizadores que permiten el reglaje de los tiempos de conmutación en los distribuidores de potencia y, en consecuencia, del tiempo de respuesta del sistema. Esto posibilita ajustar el tiempo de conmutación de cada accionamiento del distribuidor con respecto: a su propia orden de mando, al accionamiento antagonico y a los accionamientos de los otros distribuidores.

l. La condición de Paro:

- i. Realiza un paro controlado registrando su estado previo al mismo y sitúa al sistema en estado seguro.
- ii. Cuando se activa, inhibe las salidas del autómat (deja sin alimentación a las bobina de las electroválvulas de los distribuidores de potencia). Esto provoca que las actuaciones de los actuadores se anulen y queden bloqueados, si bien sus ordenes de mando quedarán registradas.
- iii. Se activa y se memoriza por las siguientes causas: con un pulso de la entrada de Paro (sea pulsador o interruptor) o de la Condición de seguridad (p. ej. sensor de presencia), o por fallo de energía eléctrica. Mientras se mantenga activadas cualquiera de estas tres causas, no será posible salir de su Condición de Paro.
- iv. Para salir de la Condición de Paro se podrá activar la Marcha o el Rearme siempre que las causas que lo provocan desaparezcan o no está activadas.

m. La Marcha, y desactivada la Condición de Paro, iniciará el funcionamiento en el punto donde se encuentra el sistema.

n. El Rearme, y desactivada la Condición de Paro, inicia el Rearme del sistema.

o. La Condición de Rearme:

- i. sólo es posible activarla cuando la máquina tiene todas sus salidas desactivadas. Y esto corre en dos casos: o parando la máquina y, luego, desactivando la condición de Paro o en la puesta en marcha de la máquina cuando sus actuadores no están en su estado inicial.
- ii. Se desactiva automáticamente cuando previamente se ha solicitado, con la entrada "Rearme", y los actuadores se sitúan en posición de reposo o se activa la Condición de Paro.

p. Se debe introducir las siguientes Condiciones de Seguridad, las cuales deben activar la Condición de Paro:

- i. implantar un dispositivo de protección humana (un sensor de presencia o interruptor de enclavamiento que detecta la posición de las protecciones fijas o un tapiz, etc.).
- ii. un sensor que compruebe la presencia de energía y que verifica una presión de trabajo adecuada.

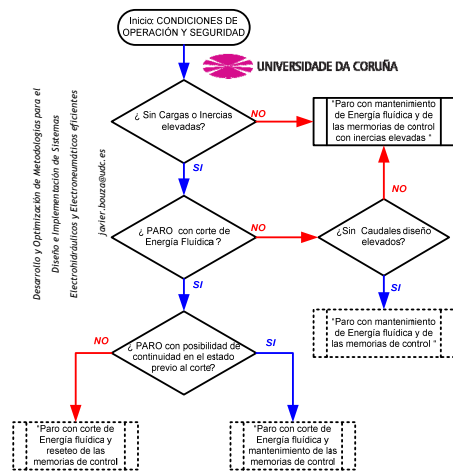


Figura 8.3.2.6.5.- Caso IV: Paro con mantenimiento de la energía fluidica y memorias de control con inercias elevadas- Electrohidráulica.

8.3.2.7 Bloques de Función definidos.

➤ **Paro**

Tabla 8.3.2.7.1.- Bloques de Función definidos: Paro

| Bloque / comentario   | Caso                                   |
|---|--|
|   | <p>I (*)<br/>II (*)<br/>III<br/>IV</p> |
| <p>Solo será posible desactivar la “Condición de PARO” cuando la entrada “Paro” esté desactivada. Por tanto, en el caso de emplear un interruptor de Paro con enclavamiento, será necesario desenclavarlo para que el pulsador de Marcha o Rearme borre la “Condición de PARO”.</p> <p style="text-align: right;">* sólo ciclo continuo</p> |  |
|   | <p>I (*)<br/>II (*)<br/>III<br/>IV</p> |
| <p>Es necesario que las dos entradas “Paro” y “Paro auxiliar” estén desactivadas para borrar la “Condición de PARO”.</p> <p style="text-align: right;">* sólo ciclo continuo</p>  |  |
|   | <p>I<br/>II</p>                        |
| <p>Deja indefinidamente activada la salida “Acción PARO” una vez pisada la “Marcha” o activado el “Rearme”. Y hasta que se produzca un “Paro” o se active su entrada auxiliar no se desactivará la “Acción PARO”.</p>   |  |

| Bloque / comentario  | Caso               |
|--|--------------------|
| <p>(Entradas)</p> <p>Paro (NC) (i1)</p> <p>Paro auxiliar (NC) (i2)</p> <p>Marcha (i3)</p> <p>Condición REARME (i4)</p> <p>Fin Acción PARO (i5)</p> <p style="text-align: center;"><b>Bloque PARO 2 múltiple</b></p> <p style="text-align: right;">(Salidas)</p> <p>(s1) Condición PARO</p> <p>(s2) Acción PARO</p> <p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE DA CORUÑA<br/>javier.bouza@udc.es</p> | <p>I</p> <p>II</p> |
| <p>Una vez pisada la “Marcha” o activado el “Rearme” se activa la salida “Acción PARO”, hasta que se produzca un “Paro” o se activen sus entradas “Paro auxiliar” o “Fin Acción PARO”.</p>   |                    |

➤ **Rearme y Ciclo Continuo**

Tabla 8.3.2.7.2.- Bloques de Función definidos: Rearme y Ciclo Continuo.

| Bloque / comentario  | Caso                           |
|--|--------------------------------|
|  | <p>I<br/>II<br/>III<br/>IV</p> |
| <p>Sus entradas: “Rearme” señal de activación (e. ej. Pulsador de Rearme), “Condición Prioritaria” que es aquella condición que si no esta activada, cuando se solicita el “Rearme”, no será posible la “Condición de Rearme”; y la entrada “Fin de REARME” que permite borrar la “Condición REARME”.</p>  |                                |
|  | <p>I<br/>II<br/>III<br/>IV</p> |
| <p>Se trata el modo de operación “Ciclo Continuo” que permite definir el número de ciclos que se desea realizar en una secuencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ la entrada “Iniciar” activa el contador;</li> <li>✓ la entrada “Finalizar” desactiva el contador una vez alcanzado el valor de contaje,</li> <li>✓ la entrada “ascendente/ descendte” se define respectivamente por los valores “0” (por defecto) o “1”</li> <li>✓ en la entrada de “Contaje” se introduce la señal de computo (cuenta el flanco ascendente de la misma)</li> <li>✓ existe una entrada de “Reseteo”.</li> <li>✓ se puede parametrizar internamente el valor umbral de la salida mediante la definición del límite de conexión y desconexión, así como ajustar el valor inicial del contador.</li> </ul> |                                |

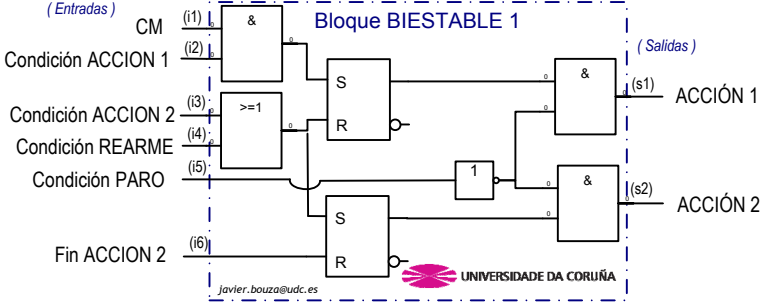
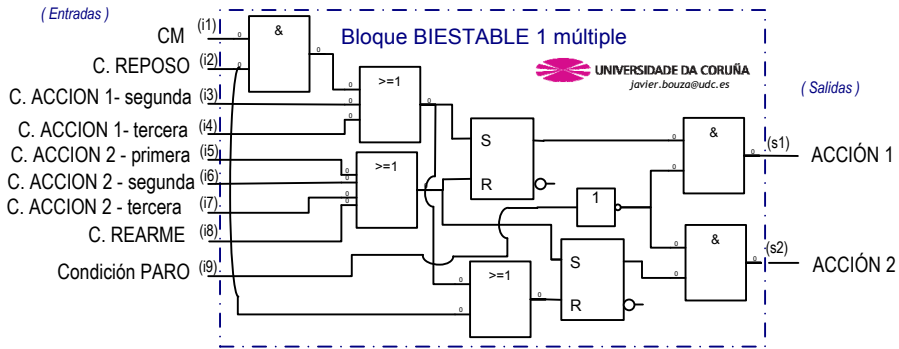
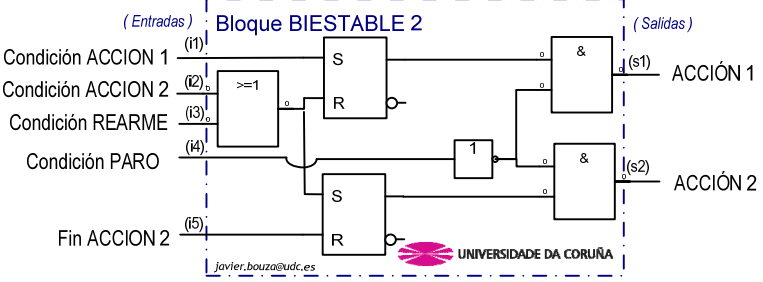
➤ **Control Monoestable**

Tabla 8.3.2.7.3.- Bloques de Función definidos: Control Monoestable

| <p align="center"><b>Bloque / comentario</b></p> <p align="center"><i>(Control de las electroválvulas monoestables con una posición inestable)</i></p>   | <p align="center"><b>Caso</b></p>   |
|--|---|
| <p align="center"><b>Bloque MONOESTABLE 1</b></p>  | <p align="center">I</p> <p align="center">II</p> <p align="center">III</p> <p align="center">IV</p> |
| <p>Se emplea cuando la salida “ACCIÓN 1” es la primera de la secuencia.</p>  |   |
| <p align="center"><b>Bloque MONOESTABLE 2</b></p>  | <p align="center">I</p> <p align="center">II</p> <p align="center">III</p> <p align="center">IV</p> |
| <p>Se utiliza cuando la salida “ACCIÓN 1” no es la primera de la secuencia.</p>  |   |
| <p align="center"><b>Bloque MONOESTABLE 2 múltiple</b></p>   | <p align="center">I</p> <p align="center">II</p> <p align="center">III</p> <p align="center">IV</p> |
| <p>El tercer Bloque Monoestable, “MONOESTABLE 2 múltiple”, se usa cuando la salida “ACCIÓN 1” se repite varias veces en una misma secuencia independiente de su orden. Como máximo tres veces, en caso de menos, sólo se utilizan las entradas necesarias.</p> |   |

➤ **Bloques de Función definidos: Control Biestable**

Tabla 8.3.2.7.4.- Bloques de Función definidos: Control Biestable

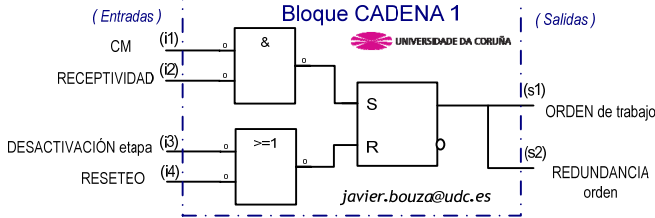
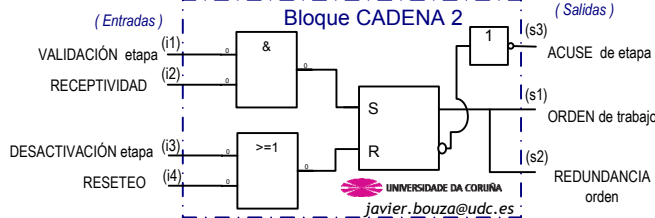
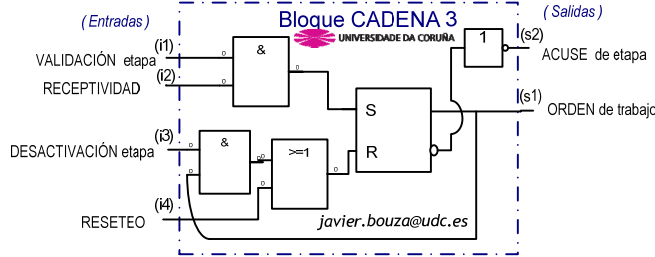
| <p align="center"><b>Bloque / comentario</b></p> <p><i>(Control de las electroválvulas biestables de 2 posiciones y de las monoestables de 3 posiciones)</i></p>   | <p align="center"><b>Caso</b></p>             |
|--|---|
|    | <p align="center">I<br/>II<br/>III<br/>IV</p> |
| <p>Se emplea cuando la salida “ACCIÓN 1” es la primera de la secuencia.</p>  |   |
|   | <p align="center">I<br/>II<br/>III<br/>IV</p> |
| <p>Se emplea cuando la salida “ACCION 1” es la primera de la secuencia pero se repite más veces. Como máximo tres veces en la secuencia, en caso de menos, sólo se utilizan las entradas necesarias.</p> |   |
|    | <p align="center">I<br/>II<br/>III<br/>IV</p> |
| <p>Se emplea cuando la salida “ACCIÓN 1” no es la primera de la secuencia.</p>   |   |



| <p align="center"><b>Bloque / comentario</b></p> <p><i>(Control de las electroválvulas biestables de 2 posiciones y de las monoestables de 3 posiciones)</i></p>   | <p align="center"><b>Caso</b></p>   |
|--|---|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p><i>(Entradas)</i></p> <p>C. ACCION 1 - primera (i1)</p> <p>C. ACCION 1 - segunda (i2)</p> <p>C. ACCION 1 - tercera (i3)</p> <p>C. ACCION 2 - primera (i4)</p> <p>C. ACCION 2 - segunda (i5)</p> <p>C. ACCION 2 - tercera (i6)</p> <p>C. REARME (i7)</p> <p>Condición PARO (i8)</p> <p>Fin ACCION 2 (i9)</p> </div> <div style="width: 60%; border: 1px dashed blue; padding: 5px;"> <p align="center"><b>Bloque BIESTABLE 2 múltiple</b></p> <p align="right"><i>(Salidas)</i></p> <p>ACCIÓN 1 (s1)</p> <p>ACCIÓN 2 (s2)</p> </div> </div> | <p align="center">I</p> <p align="center">II</p> <p align="center">III</p> <p align="center">IV</p> |
| <p>Se emplea cuando la salida “ACCION 1” no es la primera de la secuencia pero, además, se repite como máximo 3 veces. En caso de menos, sólo se utilizan las entradas necesarias.</p>   |   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p><i>(Entradas)</i></p> <p>Condición ACCION 1 (i1)</p> <p>Condición ACCION 2 (i2)</p> <p>Condición REARME (i3)</p> <p>Condición PARO (i4)</p> <p>Fin ACCION 1 (i5)</p> <p>Fin ACCION 2 (i6)</p> <p>Fin REARME (i7)</p> </div> <div style="width: 60%; border: 1px dashed blue; padding: 5px;"> <p align="center"><b>Bloque BIESTABLE 3</b></p> <p align="right"><i>(Salidas)</i></p> <p>ACCIÓN 1 (s1)</p> <p>ACCIÓN 2 (s2)</p> </div> </div>   | <p align="center">I</p> <p align="center">II</p> <p align="center">III</p> <p align="center">IV</p> |
| <p>Se emplea cuando la “ACCIÓN 2” no resetea la “ACCION 1”. Este es el caso de que el distribuidor de potencia conjuntamente con los elementos de bloqueo del circuito fluídico garantizan el efecto de la “ACCIÓN 1” hasta que entra la “ACCION 2”</p>  |   |

➤ **Control Secuencial**

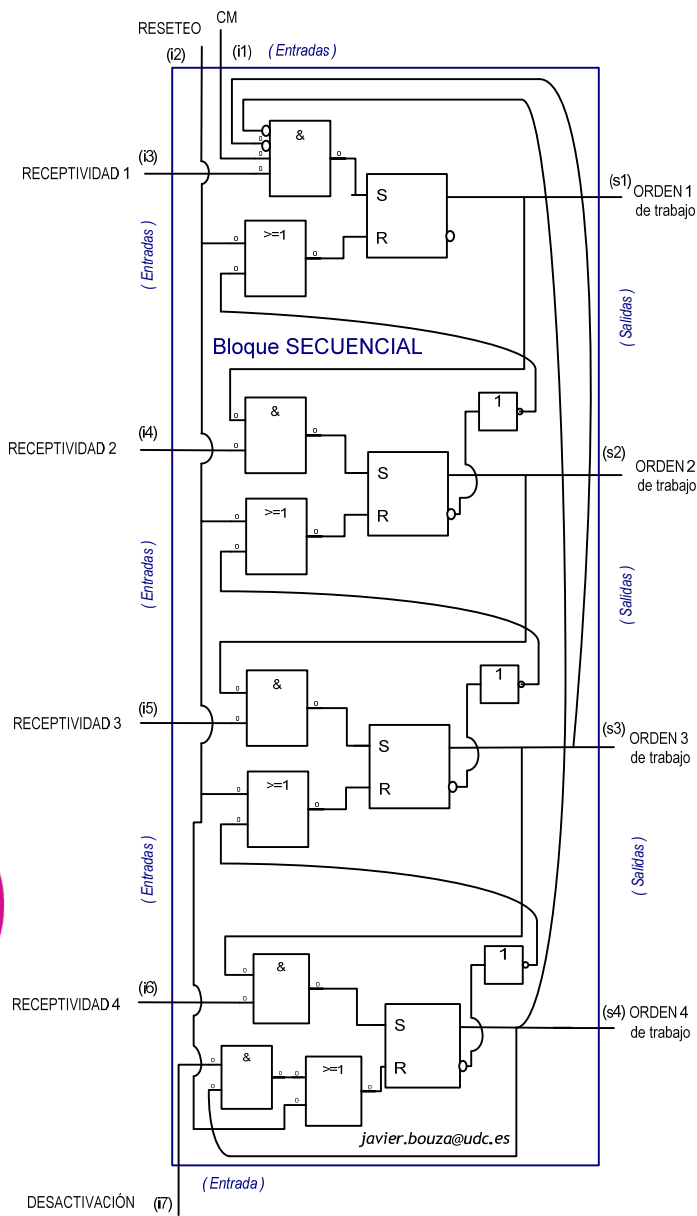
Tabla 8.3.2.7.5.- Bloques de Función definidos: Control Secuencial- Bloques de cadena

| Bloque / comentario  | Caso                                    |
|--|---|
|    | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> <p>IV</p> |
| <p>Se empleará en la etapa inicial de la secuencia.</p>  |   |
|    | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> <p>IV</p> |
| <p>Tendrá su uso en los pasos comprendidos entre la segunda y penúltima etapa de la secuencia.</p>   |   |
|    | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> <p>IV</p> |
| <p>Se utiliza en la etapa final de la secuencia</p>  |   |
| <p>Las entradas de estos bloques son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) CM = Es la señal que inicia el arranque del sistema secuencial.</li> <li>2) RECEPTIVIDAD = es una proposición lógica que conjuntamente con la CM son las condiciones que activan la salida “ORDEN de trabajo” a través de un módulo “Y”. La receptividad se define con las entradas externas (sensores y captadores de información) e internas (temporizadores, contadores, estados activos o inactivos de otras etapas,...) que en el momento preciso son necesarios para la ejecución de la orden.</li> <li>3) DESACTIVACIÓN (etapa) = es la señal que pone a cero la memoria que registra el estado del Bloque “CADENA 1” y, en consecuencia, anula la “ORDEN de trabajo”.</li> <li>4) RESETEO = Entrada que permite introducir una señal que borra la memoria biestable RS del módulo y, en consecuencia, anula la “ORDEN de trabajo” y su registro lo pone a cero.</li> </ol> <p>Las salidas del bloque son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ORDEN (de trabajo) = Es la señal de mando para el gobierno del distribuidor de potencia.</li> <li>2) REDUNDANCIA (orden) = Es una señal auxiliar que repite la orden de mando</li> </ol> |   |

- 3) ACUSE (de etapa) = Es un señal auxiliar que repite la orden de mando pero a través de una vía de comunicación diferente.

Tabla 8.3.2.7.6.- Bloques de Función definidos: Control Secuencial- Bloque secuencial

| <i>Bloque / comentario</i>  | <i>Caso</i> |
|---|-------------|
| <p>Las entradas de este bloque son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) CM = Es la señal que inicia el arranque del sistema secuencial.</li> <li>2) RESETEO = Entrada que permite introducir una señal que borra todas las memorias biestables RS del módulo, y en consecuencia, anula todas las ordenes de trabajo y sus registros los pone a cero.</li> <li>3) RECEPTIVIDAD 1 = es una proposición lógica que conjuntamente con la CM son las condiciones que a través de un módulo “Y” activan la <i>ORDEN 1</i> de trabajo. La receptividad es función de las entradas externas (sensores y captadores de información) e internas (temporizadores, contadores, estados activos o inactivos de otras etapas,...) que en el momento preciso son necesarios para la ejecución de la orden.</li> <li>4) RECEPTIVIDAD 2 = es una proposición lógica que conjuntamente con la <i>ORDEN 1</i> son las condiciones que activan la <i>ORDEN 2</i> de trabajo a través de un módulo “Y”.</li> <li>5) RECEPTIVIDAD 3 = es una proposición lógica que conjuntamente con la <i>ORDEN 2</i> son las condiciones que activan la <i>ORDEN 3</i> de trabajo a través de un módulo “Y”.</li> <li>6) RECEPTIVIDAD 4 = es una proposición lógica que conjuntamente con la <i>ORDEN 3</i> son las condiciones que activan la <i>ORDEN 4</i> de trabajo a través de un módulo “Y”.</li> <li>7) DESACTIVACIÓN (etapa) = es la señal que pone a cero la memoria que registra <i>Orden 4</i> de trabajo, y en consecuencia, anula dicha orden de trabajo.</li> </ol> <p>Las salidas del bloque son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ORDEN 1 (de trabajo) = Es la señal de mando de la <i>Orden 1</i> para el gobierno del distribuidor de potencia.</li> <li>2) ORDEN 2 (de trabajo) = Es la señal de mando de la <i>Orden 2</i> para el gobierno del distribuidor de potencia.</li> <li>3) ORDEN 3 (de trabajo) = Es la señal de mando de la <i>Orden 3</i> para el gobierno del distribuidor de potencia.</li> <li>4) ORDEN 4 (de trabajo) = Es la señal de mando de la <i>Orden 4</i> para el gobierno del distribuidor de potencia.</li> </ol> |             |

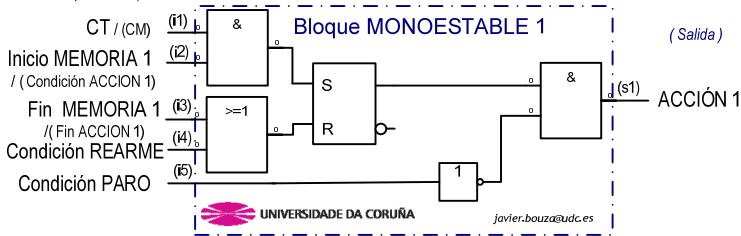
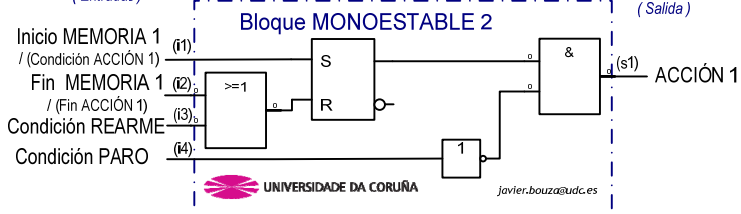
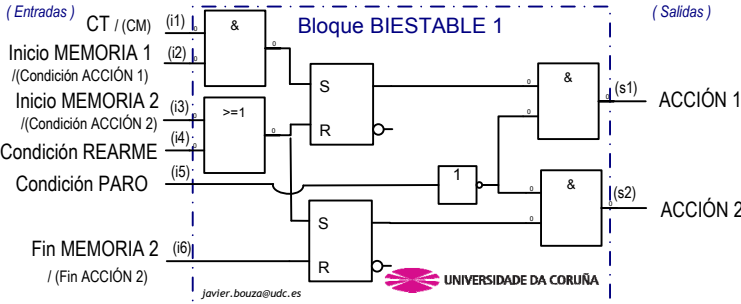
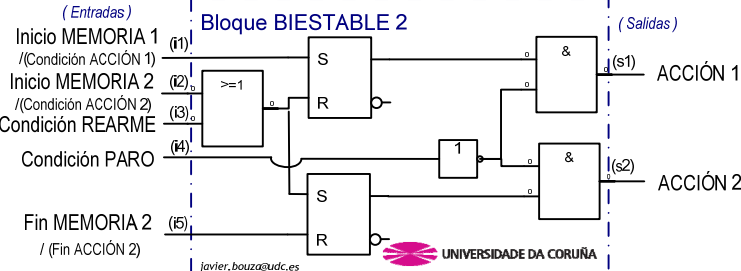


Desarrollo y Optimización de Metodologías para el Diseño e Implementación de Sistemas Electrohidráulicos y Electroneumáticos eficientes

javier.bouza@udc.es

I  
II  
III  
IV

Tabla 8.3.2.7.7- Bloques de Función definidos: Control Secuencial- control monoestable y biestable

| Bloque / comentario   | Caso                                    |
|---|---|
| <p>(Entradas)</p> <p>CT / (CM) (i1)</p> <p>Inicio MEMORIA 1 / (Condición ACCIÓN 1) (i2)</p> <p>Fin MEMORIA 1 / (Fin ACCIÓN 1) (i3)</p> <p>Condición REARME (i4)</p> <p>Condición PARO (i5)</p>  <p style="text-align: right;">(Salida)</p> <p>ACCIÓN 1 (s1)</p> <p style="text-align: right;">ACCIÓN 2 (s2)</p> <p style="text-align: right;">UNIVERSIDADE DA CORUÑA<br/>javier.bouza@udc.es</p>  | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> <p>IV</p> |
| <p>Control por <i>electroválvula monoestable gobernada por orden que efectúan cambio de grupo y ejecuta una etapa</i></p>   |   |
| <p>(Entradas)</p> <p>Inicio MEMORIA 1 / (Condición ACCIÓN 1) (i1)</p> <p>Fin MEMORIA 1 / (Fin ACCIÓN 1) (i2)</p> <p>Condición REARME (i3)</p> <p>Condición PARO (i4)</p>  <p style="text-align: right;">(Salida)</p> <p>ACCIÓN 1 (s1)</p> <p style="text-align: right;">UNIVERSIDADE DA CORUÑA<br/>javier.bouza@udc.es</p>   | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> <p>IV</p> |
| <p>Control por <i>electroválvula monoestable gobernada por orden que ejecutan una etapa y no es responsable de cambio de grupo.</i></p>   |   |
| <p>(Entradas)</p> <p>CT / (CM) (i1)</p> <p>Inicio MEMORIA 1 / (Condición ACCIÓN 1) (i2)</p> <p>Inicio MEMORIA 2 / (Condición ACCIÓN 2) (i3)</p> <p>Condición REARME (i4)</p> <p>Condición PARO (i5)</p> <p>Fin MEMORIA 2 / (Fin ACCIÓN 2) (i6)</p>  <p style="text-align: right;">(Salidas)</p> <p>ACCIÓN 1 (s1)</p> <p style="text-align: right;">ACCIÓN 2 (s2)</p> <p style="text-align: right;">UNIVERSIDADE DA CORUÑA<br/>javier.bouza@udc.es</p> | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> <p>IV</p> |
| <p>Control por <i>electroválvula biestable o electroválvula monoestable de 3 posiciones gobernada por orden que efectúan cambio de grupo y ejecuta una etapa.</i></p>   |   |
| <p>(Entradas)</p> <p>Inicio MEMORIA 1 / (Condición ACCIÓN 1) (i1)</p> <p>Inicio MEMORIA 2 / (Condición ACCIÓN 2) (i2)</p> <p>Condición REARME (i3)</p> <p>Condición PARO (i4)</p> <p>Fin MEMORIA 2 / (Fin ACCIÓN 2) (i5)</p>  <p style="text-align: right;">(Salidas)</p> <p>ACCIÓN 1 (s1)</p> <p style="text-align: right;">ACCIÓN 2 (s2)</p> <p style="text-align: right;">UNIVERSIDADE DA CORUÑA<br/>javier.bouza@udc.es</p>                       | <p>I</p> <p>II</p> <p>III</p> <p>IV</p> |
| <p>Control por <i>electroválvula biestable o electroválvula monoestable de 3 posiciones gobernada</i></p>   |   |

*por orden que ejecutan una etapa y no es responsable de cambio de grupo.*

Las entradas y salidas de estos bloques son:

- 1) CT = Condición de Transición.
- 2) Inicio MEMORIA 1 = señal de activación de la “memoria 1”
- 3) Inicio MEMORIA 2 = señal de activación de la “memoria 2”
- 4) Fin MEMORIA 1 = señal de desactivación de la “memoria 1”
- 5) Fin MEMORIA 2 = señal de desactivación de la “memoria 2”
- 6) Condición REARME = señal que inicia el rearme del sistema, y resetea el bloque y sus salidas “ACCIÓN 1” y “ACCION 2”.
- 7) Condición PARO = señal que inhibe las salidas “ACCIÓN 1” ó “ACCIÓN 2”.
- 8) ACCIÓN 1= señal de mando 1 para el gobierno del distribuidor de potencia
- 9) ACCIÓN 2= Señal de mando 2 para el gobierno del distribuidor de potencia

#### 8.4 Futuros desarrollos.

Este trabajo no supone el final de estudio del diseño e implementación de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos de forma eficiente y segura, sino que abre camino para seguir trabajando:

- El desarrollo de nuevos “Bloques de Función definidos” que permitan desarrollar mandos más complejos y especializados.
- “Bloques de Función definidos” que se puedan integrar de forma directa en la programación del HMI sin necesidad de establecer una pasarela o una relación.
- La integración de técnicas y recursos de análisis predictivo en el mando que aumenten la capacidad de supervisión del sistema electrohidráulico y electroneumático.
- Generar nuevos recursos y métodos que permitan cubrir aplicaciones con altos requisitos de seguridad.
- Seguir avanzado en el desarrollo de recursos y elementos específicos para la comunicación vía Ethernet de los sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos.





## Bibliografía



### Fuentes de Información.

Las Bases de datos y fuentes bibliográficas consultadas:

- Web of Science Core Collection:
- Arts & Humanities Citation Index (A&HCI), 1975-
- Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded), 1945-
- Social Sciences Citation Index (SSCI), 1956-
- Conference Proceedings Citation Index- Science (CPCI-S), 1990-
- Conference Proceedings Citation Index- Social Science & Humanities (CPCI-SSH), 1990-
- IEEE Explorer Digital Library
- SCOPUS
- Base de datos bibliográfica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- ICYT Ciencia y Tecnología
- Dialnet. Hemeroteca Virtual

### Relación bibliográfica.

- "PLC Programming Example - Hydraulic Press", 2012, .
- "PlantPAX: lo mejor del sistema de control distribuido y PLC/SCADA", 2011, *Ingeniería química*, no. 496, pp. 34-35.
- "PLCs, hydraulics improve slant rig shallow-drilling operations", 2001, *Oil and Gas Journal*, vol. 99, no. 9, pp. 86-89.
- "Proceedings of the 1997 7th Annual ISA POWID/EPRI Controls and Instrumentation Conference", 1997, *Instrumentation, Control, and Automation in the Power Industry, Proceedings*.
- "Ventajas del PLC en control de procesos", 2001, *Industria internacional*, vol. 37, no. 398, pp. 28.
- Álvarez, M.E.V., Antón, J.C., Blanco-Viejo, C. & Ferrero, F.J. 2000, "Fully automatic guardrail packed machine", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 777.
- Alvarez, M.E.V., Blanco-Viejo, C., Anton, J.C. & Ferrero, F.J. 2000, "Fully automatic guardrail packed machine", *Industrial Electronics, 2000. ISIE 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on*, pp. 777.

- Anon 1998, "CANbus brings new thinking to the control of an injection moulding machine", *British Plastics and Rubber*, , pp. 13-16.
- Baethke, K., Faulstich, M., Haucke, G. & Espeleta, A.D. 2002, *Investigation of a new 1 MN force calibration machine of twin cylinder design*.
- Bai, Q., Wei, K.-., Cheng, Y.-. & Zhu, S.-. 2013, "Design of force loading monitor and control system based on LabVIEW", *Proceedings - 2013 4th International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA 2013*, pp. 466.
- Baode Jing, Hong Wu, Lijuan Yang & Xiaomei Li 2009, "Digital Electro-hydraulic Proportional Control for Bulldozer Working Device", *Information and Computing Science, 2009. ICIC '09. Second International Conference on*, pp. 296.
- Beard, G.S. & Stoten, D.P. 1996, "Energy efficient pressure control of a hydraulic actuator circuit using MCS adaptive control", *Control '96, UKACC International Conference on (Conf. Publ. No. 427)*, pp. 1474.
- Bencsik, A.L. 2001, "Intelligent control of hydraulic duplex pulsating pump", *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, pp. 199.
- Bernd Bocksnick, 1988, "Fundamentals Of Control Technology" ISBN 3812733013
- Blažic, S., Škrjanc, I., Gerškic, S., Dolanc, G., Strmcnik, S., Hadjiski, M.B. & Stathaki, A. 2009, "Online fuzzy identification for an intelligent controller based on a simple platform", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 22, no. 4-5, pp. 628-638.
- Brosch, P.F. 2006, "Cover topic. A key to global success- Modem machine concepts with motion control", *Konstruktion*, , no. 7-8, pp. 16-21.
- Byung-Sub Kim & Tsu-Chin Tsao 2001, "Robust repetitive controller design with improved performance", *American Control Conference, 2001. Proceedings of the 2001*, pp. 2027.
- Cahill, L. 2006, "Hydraulic valves and logic processors on medium to small dams: The future of dam automation", *Operating Reservoirs in Changing Conditions - Proceedings of the Operations Management 2006 Conference*, pp. 139.
- Cai, T., Zhou, J., Wu, X., Peng, W. & Yan, X. 2013, *Control system for automatic positioning the working device of metamorphic concrete grouting machine*.

- Callaghan, D.M. *System for interacting with industrial automation device e.g. programmable logic controller, executes interactive program within browser.*
- Canuto, E. & Acuna-Bravo, W. 2013, "Hierarchical digital control of a proportional electro-hydraulic valve", *Mechatronics and Automation (ICMA), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 1015.
- Canuto, E.S., Musso, F. & Massotti, L. 2005, "Embedded Model Control: Application to Electrovalves", *Intelligent Control, 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation*, pp. 952.
- Caputo, D. 1996, "PLC-friendly electrohydraulic proportional valves simplify motion control", *Chilton's I&CS (Instrumentation & Control Systems)*, vol. 69, no. 2, pp. 75-78.
- Carminati, M., Rubagotti, M., Grassetti, R., Ferrari, G. & Sampietro, M. 2010, "A smart embedded control unit for electro-hydraulic aircraft actuators", *Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS), 2010*, pp. 1.
- Carr, C.K. 2003, "From DC to AC", *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 9, no. 4, pp. 13-21.
- Castillo F., M.L. 2003, "Plataforma tecnológica para integrar los plc's del sistema de control de procesos", *Télématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, vol. 2, no. 2, pp. 1-7.
- CHANG, H. & ZHANG, L. 2011, "Hydraulic centralized control system of paver adopting programmable logic controller (PLC)", .
- Cheboxarov, V.V. 2001, "Force unloading of a flexible manipulator link", *Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on*, pp. 2267.
- Chen, S.P., Jia, G.Z., Ren, Y.L. & Cai, Y.P. 2014, *Monitor design of hydraulic experimental system for electric submersible pump.*
- CHUNYOU, L.I.U. & ZIHUA, R.U. 2010, "Novel PLC power supply of electro-hydraulic workover rig", .
- Colon, E., Polome, D., Piedfort, V. & Baudoin, Y. 1995, "AMRU 3: teleoperated six-legged electrohydraulic robot", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, pp. 192.
- Cortes Osorio, J.A., Mendoza Vargas, J.A. & Muriel Escobar, J.A. 2012, "Control y supervisión de un sistema pick and place neumático a través de un PLC y un sistema SCADA", *Scientia et Technica*, vol. 2, no. 50, pp. 141-146.
- CUNTANG, W. & GUILIN, W. 2014, "Full-automatic plate shearer hydraulic system based on PLC (programmable logic controller) control", .

- CUNTANG, W. & GUILIN, W. 2014, "Full-automatic plate shearing machine hydraulic system on basis of PLC control", .
- Davies, R.M. & Watton, J. 1995, "Intelligent control of an electrohydraulic motor drive system", *Mechatronics*, vol. 5, no. 5, pp. 527-540.
- De las Heras, Salvador & Carbo, Albert & Bouza, Javier 2011, "Detección de fugas en sistemas de aire comprimido", *Automática e instrumentación*, num. 430, p. 61-66.
- De las Heras Jimenez, Salvador Augusto; Moreno Llagostera, Hipolit; Bouza, Javier, "Estrategias para el ahorro de aire comprimido", *Automática e instrumentación*, num. 412, p. 52-55.
- De las Heras Jimenez, Salvador Augusto 2005 "Medidas de caudal en sistemas neumáticos", *Automática e instrumentación*, num. 366, p. 66-72.
- De las Heras Jimenez, Salvador Augusto 2003 "Tecnología digital en válvulas neumáticas", *Automática e instrumentación*, num. 346, p. 60-68.
- De las Heras, Salvador Augusto, 2011, "Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas", ISBN 9788476538012
- Escobosa, A. 1994, "Digital hydrostatic servoactuation
- Deng, X.Z. & Xue, T. 2014, *Index plate special milling machine PLC control system design*.
- Deticek, E. 1999, "An intelligent position control of electrohydraulic drive using hybrid fuzzy control structure", *Industrial Electronics, 1999. ISIE '99. Proceedings of the IEEE International Symposium on*, pp. 1008.
- Dong Liu & Jie Ma 2008, "Model reference adaptive control for time varying hydraulic systems", *Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference on*, pp. 2032.
- Dorgelo, E.G., Gordon, K.G., Bromley, C.H., Reichard, D.J., Semkow, M.D. & Virji, S.A. *Manufacturing process indexing system for industrial automation system, has master indexing component to facilitate manufacturing process indexing component through aggregation of indexing agent sub-indices to derive overall index*.
- Drumea, A. & Blejan, M. 2013, "Design, implementation and testing of an electrohydraulic system for automated winding machine for aluminum wire rods", *2013 International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2013*.
- Du, L. *Hydrostatic machine ultra low speed control structure, has position sensor placed on hydraulic cylinder whose position signal is fed back and connected with programmable logic controller*.

- Dufo López, R. & Bernal Agustín, J.L. 2007, *Dimensionado y control óptimos de sistemas híbridos aplicando algoritmos evolutivos*.
- Evans, D.S. 1995, "Condition monitoring of sequential fluid power systems using programmable logic controllers", *Application of Advanced PLC (Programmable Logic Controller) Systems with Specific Experiences from Water Treatment, IEE Colloquium on (Digest No.1995/112)*, pp. 4/1.
- Evans, D.S. 1995, "Simulation modelling of sequential fluid power systems using integrated PLC/PC development aids", *Innovations in Manufacturing Control Through Mechatronics, IEE Colloquium on*, pp. 8/4.
- Evans, D.S. 1995, "Simulation modelling of sequential fluid power systems using integrated PLC/PC development aids", *IEE Colloquium (Digest)*.
- Ezell, L.O. 1987, "SAFETY MONITORING SYSTEM BASED ON A MICRO PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER.", pp. 213.
- Ferreiro García, R. 1995, *Nociones sobre aplicación de PLC's al control de procesos industriales*, 1st edn, Universidade da Coruña.
- Flores, E.R.C. & Campos, C.C. 2012, "Subsystem of Data Acquisition Using the ModBus Protocol in Real Time of the Digital Electro-Hydraulic Control and Its Integration with the Integral System of Process Information of Laguna Verde Nuclear Power Plant", *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA), 2012 IEEE Ninth*, pp. 153.
- Fu, W., Luo, X., Zeng, S., Wang, Z., Wang, C. & Yuan, Q. 2015, "Design and experiment of electro-hydraulic proportional control hill distance system of precision rice hill-drop drilling machine for dry land", *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 31, no. 9, pp. 25-31.
- FUHAI, L.I.U. & HONGXIAN, L.I.U. 2011, "Hydraulic system unloading device for forging hydraulic press and based on PLC control", .
- García Pinzon, J.A. & Mendoza, L.E. 2014, "Adquisición y procesamiento de señales emg para controlar movimiento de un brazo hidráulico", *Mundo FESC*, vol. 1, no. 7, pp. 49-60.
- García Sampedro, A. 2007, "Control remoto rápido y sencillo: estación de control remoto, PLC y gateway de protocolos", *Electra*, , no. 143, pp. 2-7.
- García, J. 2014, "Desarrollo de un Sistema Emulador de PLC con Telecontrol desde una Aplicación Móvil para Android y con Software de Teleprogramación vía Bluetooth que incluye Tecnología DDE para realizar Aplicaciones de Control Discreto por Computadora en Tiempo Real desde FESTO FluidSIM." in *Ciencias de la Ingeniería y*

*Tecnología Handbook T-V: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*, 1st edn, ECORFAN, , pp. 106-116.

- García, M., Llorca, M., Oro, J., Solà, D. & Barberá, E. 2014, "Simulación de procesos con controladores lógico-programables (PLC's)", *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, vol. 71, no. 566, pp. 95-100.
- Gerksic, S., Dolanc, G., Damir, V., Kocijan, J., Strmcnik, S., Blazic, S., Skrjanc, I., Marinsek, Z., Bozicek, M., Stathaki, A., King, R., Hadjiski, M. & Boshnakov, K. 2006, "Advanced control algorithms embedded in a programmable logic controller", *Control Engineering Practice*, vol. 14, no. 8, pp. 935-948.
- Gerksic, S., Dolanc, G., Vrancic, D., Kocijan, J., Strmcnik, S., Blažic, S., Škrjanc, I., Marinšek, Z., Božicek, M., Stathaki, A., King, R., Hadjiski, M. & Boshnakov, K. 2006, "Advanced control algorithms embedded in a programmable logic controller", *Control Engineering Practice*, vol. 14, no. 8, pp. 935-948.
- Ghazy, M.A. 2001, "Variable structure control for electrohydraulic position servo system", *Industrial Electronics Society, 2001. IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE*, pp. 2194.
- Govindaraj, S., Heller, D.W. & Cisler, S.M. *State and context transferring system for industrial control system, facilitates transfer of state and context between programmable logic controller and portable storage component.*
- Guolian Hou, Rui Sun, Shanshan Bi, Guoqiang Hu & Jianhua Zhang 2012, "Simulation study on scroll expander digital electro-hydraulic governing system", *Control and Decision Conference (CCDC), 2012 24th Chinese*, pp. 1002.
- Guoying Yan 2011, "The design of control system for SZ-40 injection molding machine base on PLC", *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2011 Second International Conference on*, pp. 7815.
- Harby, D., Polastri, P. & Chuenprasertsuk, C. 2007, "A new approach to teaching programable logic controller programming", *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.
- He, Y.B., Lim, G.H. & Chua, P.S.K. 2003, "Comparison and application of three integral-improved methods on conventional fuzzy control strategy", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 16, no. 7-8, pp. 723-726.
- Heney, P.J. 1997, "Corn processing hits new speeds with hydraulics", *Hydraulics and Pneumatics*, vol. 50, no. 6, pp. 37-40.
- Hintermeier, U. & Walek, J. 2010, "Fast jacking system for zinc pots to minimize downtime of continuous galvanizing lines", *MPT*



*Metallurgical Plant and Technology International*, vol. 33, no. 6, pp. 52-56.

- Hitchcox, A.L. 1998, "Fluid power rides the rails", *Hydraulics and Pneumatics*, vol. 51, no. 10, pp. 71-74.
- Holling, G. 2004, "Technology in motion - Trends in electromechanical and motion control systems", *Robotics World*, vol. 22, no. 1, pp. 18-19.
- Houston, S. 1999, "Press controls go high-tech", *Glass Industry*, vol. 80, no. 1.
- Hu, H. & Zhang, Q. 2003, "Multi-function realization using an integrated programmable E/H control valve", *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 19, no. 3, pp. 283-290.
- Hu, W. & Guo, L. 2012, *Research of automation control system of manipulator based on PLC*.
- Hu, W., Schroeder, M. & Starr, A.G. 1999, "Knowledge-based real-time diagnostic system for PLC controlled manufacturing systems", *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. IV.
- Huang, G., Peng, Y., Tu, X. & Wang, K. *Hydraulic test automatic control device for use in industrial site, has ZigBee-Modbus network gateway wireless connected with monitoring host computer, and programmable logic controller for recording and treating data*.
- Huang, J. *Monitoring system of metal extrusion hydraulic press*.
- HUIMIN, L.U.O. 2012, "Hydraulic pushing steam recovering device based on programmable logic controller (PLC) control", .
- HUIQING, Z. 2014, "PLC secondary control loop of hydraulic band sawing machine", .
- Huixiong Wan, Haibo Huang & Rui Lin 2009, "Research on all-digital strip steel rectifying electro-hydraulic control system", *Mechatronics and Automation, 2009. ICMA 2009. International Conference on*, pp. 498.
- Janežic, D., Kosin, P., Zupancic, B. & Karba, R. 1999, "Design of a control scheme with an IDR Blok", *Elektrotehniski Vestnik/Electrotechnical Review*, vol. 66, no. 1, pp. 50-57.
- Jia, Y. & Cheng, Y. 2012, *Design of electronic control system for roller machine*.
- Jiang, D. *Fully-automatic hydraulic block forming machine for producing concrete hollow block, has upper and lower oil cylinders connected to hydraulic system by pipeline, where machine is controlled by programmable logic controller*.

- Junjun Tai, Qingmei Jia & Yuqiu Liu 2009, "Computer simulation study on the servo system based on the self-adaptive fuzzy control algorithm", *Test and Measurement, 2009. ICTM '09. International Conference on*, pp. 180.
- Junlan Cheng, Wei Liu & Zengliang Zhang 2011, "Modeling and simulation for the electro-hydraulic servo system based on Simulink", *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2011 International Conference on*, pp. 466.
- KAILONG, Q. & DUAN, J.U.N. 2014, "Hydraulic element detection system based on PLC (programmable logic controller)"
- Kennedy, M.S. 1993, "Fluid power gets a push from electronics", *Machine Design*, vol. 65, no. 18, pp. 34-38.
- KEQIN LIU, [. & SHUNLI WEI, [. 2008, "Hydraulic press control system based on PLC", .
- Kim, D.H. & Tsu-Chin Tsao 2000, "Robust performance control of electrohydraulic actuators for electronic cam motion generation", *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, vol. 8, no. 2, pp. 220-227.
- Lamb, R.W. 1989, "Programmable logic controller based Governor/plant controller", pp. 1258.
- Lasko, T.R. & Scott, C.W. 1998, "Design of an intermittent extrusion blow molder", *Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings*, pp. 3332.
- Lewin, J. 1995, "Control of hydraulic gates", *International Journal on Hydropower and Dams*, vol. 2, no. 4, pp. 81-83.
- Li Sheng, Meng Bin & Ruan Jian 2012, "Research for the characteristics of electro-mechanical converter for 2D digital servo valve", *Industrial Informatics (INDIN), 2012 10th IEEE International Conference on*, pp. 719.
- Li Shuo, Liu Shuichang & Chen Weike 2013, "Control Method and Controller Design of Hydraulic Pile Driver Fuselage Leveling", *Intelligent System Design and Engineering Applications (ISDEA), 2013 Third International Conference on*, pp. 473.
- Li, C., Li, S. & Gao, L. 2012, *Study on novel automatic steel wire bundling machine hydraulic control system*.
- Li, F., Ma, C., Qiang, B. & Chen, Q. 2008, "Design and development of multi-purpose hydraulic experiment platform based on PC and PLC", *2nd International Symposium on Test Automation and Instrumentation, ISTAI 2008*, pp. 587.
- Li, S. *Hydraulic press remote communication controller consists of signal indication unit, multi-layer circuit board, program chip, main*

*processor chip, power source, telephone line interface, controller and PLC electric interface.*

- LIFENG DU, [. 2008, "PLC bus line connecting structure used for hydraulic press"
- Liu Jun-ying & Li Su-ling 2008, "Development of Control System of Electro Hydraulics Servo Leaf Spring Mill", *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2008 International Conference on*, pp. 1029.
- Liu, K., Yu, S., He, J. & Gui, W. 1997, "Learning control system for a ten-thousand-ton hydraulic press", *International Symposium on Test and Measurement, Proceedings*, pp. 541.
- Lv, X., Chen, Y., Zheng, Y. & Guo, X. 2007, "The design of the hydraulic model tests control system based on fuzzy self-adaptive PID algorithm", *Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (Iske 2007)*, , pp. 1411.
- Maldacena, C. 2005, "Operating elevators across the Americas", *Elevator World*, vol. 53, no. 1, pp. 116-118.
- Meixner, H., Bissinger, N.,1979 "Simple memory and logic circuits" ISBN 3812708671
- Meng, X. & Li, L. 2012, "Control system design of palletized loading system based on PLC and fuzzy control technology", *CSAE 2012 - Proceedings, 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, pp. 666.
- Mohsenimahesh, A., Laguë, C. & Luo, C. 2013, "Design & simulation Montague, J. 2013, "PLC's taking some excellent adventures", *Control*, vol. 26, no. 1, pp. 71-73.
- Mota, E. 2006, "Sistema Rock Pilot: control hidráulico de última generación", *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, , no. 148, pp. 24-25.
- Muñoz Merino, P.J., Palau Salvador, C., Guerri Cebollada, J.C. & Esteve Domingo, M. 2005, "Gestión remota de PLCs a través de Internet", *Novática: Revista de la Asociación de Técnicos de Informática*, , no. 173, pp. 61-67.
- Muriel Escobar, J.A., Mendoza Vargas, J.A. & Cortes Osorio, J.A. 2011, "Control secuencial de un circuito electroneumático a través de un PLC.", *Scientia et Technica*, vol. 2, no. 48, pp. 191-195.
- Nachtwey, P. 2005, "Advances in digital motion control technology: Realizing the full promise of fluid power", *Fluid Power Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 29-31.

- Naill, N., Madgwick, S., Bratten, C. & George, M. 2014, "Improving safety through logic: Programmable logic controller for conventional casing running equipment", *SPE/IADC Drilling Conference, Proceedings*, pp. 483
- Peláez Vara, Jesús, García Maté, Esteban 2002, "Neumática Industrial. Diseño, selección y estudio de los elementos neumáticos" ISBN 8495312000
- Paluchniak, M. & Millage, B.A. 1993, "New closed loop shot control system features total integration", *Die Casting Engineer*, vol. 37, no. 6.
- Parker, J.K. & Schinstock, D. 1996, "Introduction to hydraulic and logic systems in a controls course", *ASEE Annual Conference Proceedings*, pp. 2063.
- Peng Sun, Xin Guo, Kang Chen & Ziyang Wu 2012, "Research on Data Recording in Seismic PSD Experiment", *Computational Intelligence and Security (CIS), 2012 Eighth International Conference on*, pp. 214.
- Peng, L.-. 2012, "PLC control system of 1600-ton hydraulic pressure machine for abrasive products", *Jingangshi yu Moliao Moju Gongcheng/Diamond and Abrasives Engineering*, vol. 32, no. 6, pp. 74-77.
- Phillips, F. 1996, "Industrial hydraulics and electronics converge for synergy", *Control Engineering*, vol. 43, no. 7.
- Precup, R., Preitl, S., Kilyeni, S., Preitl, Z. & Barbulescu, C. 2007, "Fuzzy Control Systems Dedicated to Electro-Hydraulic Servo-Systems. IFT Techniques and Sensitivity Analysis", *EUROCON, 2007. The International Conference on "Computer as a Tool"*, pp. 1409.
- Punal, A., Lorenzo, A., Roca, E., Hernandez, C. & Lema, J.M. 1999, "Advanced monitoring of an anaerobic pilot plant treating high strength wastewaters", *Water Science and Technology*, vol. 40, no. 8, pp. 237-244.
- Qiang, Z. 2012, *Sliding ropes brake device of friction hoist machine design and application*.
- Quan Bai, Ke-xiang Wei, Yu-lan Cheng & Shi-sha Zhu 2013, "Design of Force Loading Monitor and Control System Based on LabVIEW", *Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), 2013 Fourth International Conference on*, pp. 466.
- QUANQUAN, L. & WEIXUE, W. 2014, "Hydraulic broaching machine based on PLC (programmable logic controller) control and used for broaching inner groove of impeller", .

- Rabiee, M.M. 1999, "Local Area Network (LAN) in manufacturing", *Journal of Industrial Technology*, vol. 15, no. 2.
- Rath, G., O'Leary, P., Marek, A., Siebenhofer, G. & Sifferlinger, N. 2000, "Servo-hydraulic positioning system for the ALPINE MINER", *IEEE Conference on Control Applications - Proceedings*, pp. 594.
- Reddy, Y.J., Ramsesh, A., Raju, K.P. & Kumar, Y.V.P. 2011, "A novel approach for modeling and simulation of Hybrid Power Systems using PLCs and SCADA for hardware in the loop test", *Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2011), International Conference on*, pp. 545.
- Romani, N.K. 2001, "From A to B", *World Cement*, vol. 32, no. 12, pp. 73-80.
- RONGFU, Y. & YUJUN, G. 2013, "Programmable logic controller (PLC) of cold rolling mill hydraulic system",.
- Saint-Jean, N., Benoit, P., Sassatelli, G., Torres, L. & Robert, M. 2007, "Application case studies on HS-scale, a MP-SOC for embedded systems", *Proceedings - 2007 International Conference on Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling and Simulation, IC-SAMOS 2007*, pp. 88.
- SangYunhong, Ma, L., Ning, J., LiShaoqing & SunYitian 2012, *Tractor hydraulic lighten testing system based on OPC technology*.
- Schuierer, W. *Method for supporting communication between digital computer and web service, involves generating function blocks and data based on additional data, where function blocks and data are integrated in user program*.
- Sehic, Z., Matko, D. & Sehic, Z. 1999, "Example of selftuning controllers on distributed system", *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 3332.
- Shan, Y.X. 2014, *Design of automatic control pipe bender*.
- Srinivas, R.M. & Rajagopal, V. 2009, *Industrial Automation using Programmable Logic Controller*, .
- Stott, J.G. & Wilkins, B. 2002, "Electro-hydraulic system for extrusion presses - Low energy, reliable", *Aluminium Today*, vol. 14, no. 3, pp. 19-20.
- Stubkier, S., Pedersen, H.C., Andersen, T.O., Madsen, A. & Dahl, M. 2011, "Analysis of and  $H^\infty$  controller design for an electro-hydraulic servo pressure regulator", *Fluid Power and Mechatronics (FPM), 2011 International Conference on*, pp. 516.
- Su, D. & Wang, F. 2012, "Application of PC monitoring status of PLC port in real time in hydraulic cylinder test bed", *World Automation Congress Proceedings*.

- Su, D. & Yang, Y. 2012, *Research about hydraulic cylinder test bench based on PLC*.
- Sullivan, P. & Petersen, H. 2003, "Substitution of hydraulic for pneumatic ic engine valve control system", *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, pp. 1079.
- Tai Junjun & Zhao Xin 2010, "Simulation study on the electrohydraulic servo system based on the fuzzy control algorithm", *Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR), 2010 2nd International Asia Conference on*, pp. 218.
- Tan, W. 2002, "Modeling and control design of an AGV", *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, pp. 904.
- TANG, H. & HUAFENG, W.U. 2012, "PLC (programmable logic controller)-based hydraulic generator protection device", .
- Tordi, A. & Caruso, R. 1996, "Evolution in presses", *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, vol. 17, no. 1, pp. 194-197.
- Tremosa, L. 1999, "Sistemas neumáticos e hidráulicos: el control como protagonista", *Automática e instrumentación*, no. 298, pp. 61-65.
- Valenti, M. 1996, "Improving hydraulic performance with intelligent valves", *Mechanical Engineering*, vol. 118, no. 4, pp. 56-60.
- Wallace, J. 1988, "Forging ahead: a look at robots in forging", *Industrial Robot*, vol. 15, no. 2, pp. 72-74.
- WANG, G. & SHAOYE, X.U.E. 2011, "PLC control system for pulverized coal hydraulic forming machine", .
- Wang, H. 2011, "Design of PLC-based hydraulic system for workpiece turnover", *Procedia Engineering*, pp. 122.
- Wang, H. & Huang, Y. 2012, *The hydraulic and air pressure system and PLC system for the button cell spreader*.
- Wang, J. & Deng, X. 2013, *The design of rolling mills' automatic control system based on PLC*.
- Wang, J., Zhang, D., Li, J. & Niu, W. 2001, "Hydraulic roll gap control system of plate mill and its development in PLC", *Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University*, vol. 22, no. 4, pp. 435-438.
- Wang, J. & Deng, X. 2013, "The Design of Rolling Mills' Automatic Control System Based On PLC", *Digital Design and Manufacturing Technology Iii*, vol. 546, pp. 25-29.
- Wang, L.H. & Wu, X.Q. 2014, *The design of control system of piston pin punching recess automatic drilling dedicated machine tool*.

- Wang, R., Sun, H., Zhang, N. & Li, J. 2007, "Special flash butt welding machine in endless rolling process", *Hanjie Xuebao/Transactions of the China Welding Institution*, vol. 28, no. 4, pp. 89-92.
- WANG, X. 2011, "PLC (Programmable Logic Controller) control system of crawler-type full-hydraulic multi-directional traveling forklift" .
- WANG, Y.A.O. 2013, "Control device of hydraulic quenching machine based on PLC", .
- Wang, Y.T. & Zhou, X. 2014, *Research on control program design of variable speed hydraulic system*.
- WANG, Z. & GUANGHUA, X.U. 2012, "PLC control system used for controlling large hydraulic winch", .
- Watton, J., Holford, K.M. & Surawattanawan, P. 2004, "The application of a programmable servo controller to state control of an electrohydraulic active suspension", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 218, no. 12, pp. 1367-1377.
- Wei, G. & Ji, L. 2014, *Bracket electro-hydraulic control system based on PLC hydraulic research*.
- Wenguang Zheng, Yao Yao & Ping Tang 2011, "The design of hydraulic control system about bidirectional compressing refuse collector based on PLC", *Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conference on*, pp. 4618. .
- Wu Jian, Wang Shoukun, Wang Junzheng & Xie Wen 2014, "A compound control strategy for the digital valve based hydraulic position tracking system", *Control Conference (CCC), 2014 33rd Chinese*, pp. 7869.
- Xiao Jun & Ma Wen 2010, "A PLC-Based Control System in Wheelset Disassembly Machine", *Computing, Control and Industrial Engineering (CCIE), 2010 International Conference on*, pp. 99.
- XIAOPENG, Y. & YANG, J. 2013, "Electro-hydraulic servo synchronous driving controller based on PLC", .
- Yang Xiaole, Zhang Yuanliang & Zhao Wenlong 2009, "Electro-Hydraulic Servo System Control Technology Based on Fuzzy-Multi-PID", *Intelligent Systems and Applications, 2009. ISA 2009. International Workshop on*, pp. 1.
- Yang, X., Chen, D., Dong, M. & Li, T. 2013, *Design of control system for hydraulic lifting platform with jack-up wind-power installation vessel*.
- Yang, Z. & Li, H. 2012, *Design of automatic assembly tire machine*.

- Yanping Shi & Yuling Du 2009, "A New Kind of Combined Digital Electro-hydraulic Valve", *Control, Automation and Systems Engineering, 2009. CASE 2009. IITA International Conference on*, pp. 663.
- Yao, K., Xing, K. & Jin, J. 2013, *The modular design of the hydraulic CAT system*.
- Yihua Yang & Yongxiang Lu 1996, "Ischemic disease mechanical auxiliary counterpulsating system based upon electro-pneumatic servo control and hemodynamic simulation", *Engineering in Medicine and Biology Society, 1996. Bridging Disciplines for Biomedicine. Proceedings of the 18th Annual International Conference of the IEEE*, pp. 1351.
- YONGBIN, Q.I.U. & LIAO, Y. 2012, "PLC (Programmable Logic Controller) hydraulic proportional synchronous jacking system for bridge jacking", .
- YONGBIN, Q.I.U. & ZUOLIN, Y.I. 2012, "Programmable logic controller (PLC) hydraulic proportional synchronous jacking system for jacking bridge", .
- Yongjian, L., Peng, S. & Anping, L. 1999, "The logical electro-hydraulic system with PWM", *Proceedings of the 3rd International Symposium on Fluid Power Transmission and Control (ISFP'99)*, pp. 365.
- Yu, J. & Wang, H. 2014, "The implement of hydraulic control system for large-scale railway maintenance equipment based on PLC", *Sensors and Transducers*, vol. 170, no. 5, pp. 222-226.
- Zaeh, M.F., Poernbacher, C. & Milberg, J. 2005, "A model-based method to develop PLC software for machine tools", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 1, pp. 371-374.
- Zangirolami, M. *Programmable sequence controller for e.g. solar powered system*.
- ZENG, Y. & ZHANG, H. 2010, "Digital hydraulic rectifying system based on PLC", .
- Zhang Chunyou & Wang Cong-ruì 2014, "The study of hydraulic valve position control based on PLC controller", *Material Science, Civil Engineering and Architecture Science, Mechanical Engineering and Manufacturing Technology li*, vol. 651-653, pp. 928-931.
- Zhang Yuanliang, Cui Shijie & Yang Xiaole 2009, "New Control Strategy of Electro-Hydraulic Pressure Control System", *Computer Network and Multimedia Technology, 2009. CNMT 2009. International Symposium on*, pp. 1.



- Zhang, X., Wang, D.L., Liu, X.X., Yu, M., Xia, P. & Wang, Y.Y. 2014, *Design of lifting system in seals of the hydraulic support eccentric loading test bench based on PLC and stepper motor*.
- ZHANG, Y. 2010, "Hydraulic press control system based on PLC".
- Zhao, S., Wang, J., Wang, L., Hua, C. & He, Y. 2005, "Iterative learning control of electro-hydraulic proportional feeding system in slotting machine for metal bar cropping", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, no. 7-8, pp. 923-931.
- Zhao, S.D., Wang, J., Wang, L.H., Hua, C.J. & He, Y.P. 2005, "Iterative learning control of electro-hydraulic proportional feeding system in slotting machine for metal bar cropping", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45, no. 7-8, pp. 923-931.
- ZHENG, H. 2011, "PLC drive controller of electro-hydraulic proportional valve".
- Zhenhe Wang & Shaocong Guo 2009, "Research on Maintenance Optimization for Steam Turbine Digital Electro-Hydraulic Control System", *Intelligent Information Technology Application, 2009. IITA 2009. Third International Symposium on*, pp. 345.
- ZHIHUA, L. 2014, "PLC multipoint synchronous jacking-up hydraulic system" .
- ZHIHUA, L. 2013, "Programmable logic controller (PLC) multi-point synchronization jacking up hydraulic system", .
- Zhiwei Zhang, Zhongyou Wu, Fuchun Liu & Jinchun Song 2010, "Application of symmetrical proportional direction valve controlled unsymmetrical cylinder in the automatic roller gap adjusting of a novel straightener", *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 97.
- Zhu Faming, Li Sheng, Ruan Jian & Xing Tong 2011, "Application of direct actuated digital servo valve in electrohydraulic static loading system", *Fluid Power and Mechatronics (FPM), 2011 International Conference on*, pp. 364.

#### Lista de Normas.

- Anexo I: Disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo del RD 1215/1997
- IEC 60617-12:1997 Graphical symbols for diagrams - Part 12: Binary logic elements

- IEC 60848:2013 GRAFCET specification language for sequential function charts
- IEC 61131-1:2003 Programmable controllers - Part 1: General information
- IEC 61131-2:2007 Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests
- IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages
- IEC TR 61131-4:2004 Programmable controllers - Part 4: User guidelines
- IEC 61131-5:2000 Programmable controllers - Part 5: Communications
- IEC 61131-6:2012 Programmable controllers - Part 6: Functional safety
- IEC 61131-7:2000 Programmable controllers - Part 7: Fuzzy control programming
- IEC TR 61131-8:2003 Programmable controllers - Part 8: Guidelines for the application and implementation of programming languages
- IEC 61131-9:2013 Programmable controllers - Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI)
- ISO 6403:1988 Hydraulic fluid power -- Valves controlling flow and pressure -- Test methods
- ISO 1219-1:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications
- ISO 1219-2:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 2: Circuit diagrams.
- ISO 4413:2010 Hydraulic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components
- ISO 4414:2010 Pneumatic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components
- ISO 20898:2008 Industrial trucks -- Electrical requirements
- ISO 13849-1:2006 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design
- ISO 13849-1:2006/Cor 1:2009
- ISO 13849-2:2012 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 2: Validation

- ISO/TR 14121-2:2012 Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 2: Practical guidance and examples of methods
- ISO/TR 17529:2014 Machine tools -- Practical guidance and example of risk assessment on electro-discharge machines
- ISO/TR 22100-1:2015 Safety of machinery ISO 12100:2010 Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction
- ISO/TR 22100-2:2013 Safety of machinery -- Relationship with ISO 12100 -- Part 2: How ISO 12100 relates to ISO 13849-1
- EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems
- EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems
- UNE 101-149-86 “Transmisiones hidráulicas y neumáticas. Símbolos gráficos”
- EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems
- EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems
- UNE-EN 60204-1:2007/A1:2009 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).
- UNE-EN 60204-1:2007 CORR:2010 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 60947-1:2008 Aparata de baja tensión. Parte 1: Reglas generales.
- UNE-EN 60947-2:2007 Aparata de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos. (IEC 60947-2:2006)
- UNE-EN 60947-3/A1:2002 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-3:2000 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.

- UNE-EN 60947-3:2000/A2:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-3:2009 Aparamenta de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-4-1/A1:2003 Aparamenta de baja tensión. Parte 4-1: Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos
- UNE-EN 60947-4-3:2002/A1:2007 Aparamenta de baja tensión. Parte 4-3: Contactores y arrancadores de motor. Reguladores y contactores semiconductores para cargas, distintas de los motores, de corriente alterna. (IEC 60947-4-3:1999/A1:2006).
- UNE-EN 60947-5-1:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
- UNE-EN 60947-5-1:2005/A1:2009 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
- UNE-EN 60947-5-2/A1:2000 Aparamenta de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2000 Aparatos de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2000/A2:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2002 ERRATUM Aparamenta de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-2: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-3:2000 Aparamenta de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 3: Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (PDF).
- UNE-EN 60947-5-3:2000/A1:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-3: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando.

Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (PDF).

- UNE-EN 60947-5-4:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5-4: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Método de evaluación de la aptitud para la función de los contactos de baja energía. Ensayos especiales
- UNE-EN 60947-5-5:1999 Aparata de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparato de parada de emergencia eléctrico con enclavamiento mecánico.
- UNE-EN 60947-5-5:1999/A1:2006 Aparata de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Dispositivos de parada de emergencia eléctrica con enclavamiento mecánico.
- UNE-EN 60947-5-6:2001 Aparata de baja tensión. Parte 5-6: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interfaz de corriente continua para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (NAMUR).
- UNE-EN 60947-5-7:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5-7: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para detectores de proximidad con salida analógica.
- UNE-EN 60947-5-8:2007 Aparata de baja tensión. Parte 5-8: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interruptores de mando de validación de tres posiciones. (IEC 60947-5-8:2006).
- UNE-EN 60947-5-9:2008 Aparata de baja tensión. Parte 5-9: Aparatos de control de circuitos y elementos de conmutación. Detectores de caudal.
- UNE-EN 60947-6-1:2006 Aparata de baja tensión. Parte 6-1: Equipos de funciones múltiples. Equipos de conexión de transferencia automática (IEC 60947-6-1:2005)
- UNE-EN 60947-6-2:2005 Aparata de baja tensión. Parte 6-2: Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP).
- UNE-EN 60947-6-2:2005/A1:2008 Aparata de baja tensión. Parte 6-2: Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP). (IEC 60947-6-2:2002/A1:2007).
- UNE-EN 60947-7-1:2003 Aparata de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.

- UNE-EN 60947-7-1:2003 ERRATUM:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.
- UNE-EN 60947-7-2:2003 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-2: Equipos auxiliares. Bloques de conexión de conductores de protección para conductores de cobre.
- UNE-EN 60947-7-2:2010 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-2: Equipos auxiliares. Bloques de conexión de conductores de protección para conductores de cobre.
- UNE-EN 60947-7-3:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-3: Equipos auxiliares. Requisitos de seguridad para bloques de conexión fusibles.
- VDI 3260 Funktionsdiagramme von Arbeitsmaschinen und Fertigungsanlagen
- VDI/VDE 3684 "Manufacturer-independent configuration of drive systems - Description of event-driven motion processes with functional diagrams"

#### Lista de recursos Web (Agosto de 2015)

- Fluid Power Web <http://www.fpweb.com/>
- Computational Fluid Dynamics Resources Online. <http://www.cfd-online.com/Resources/>
- CETOP Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques <http://www.cetop.org/news/index.asp>
- eFluid <http://www.efluids.com/>
- Eaton - Hydraulics [www.eaton.com/hydraulics](http://www.eaton.com/hydraulics)
- FESTO [https://www.festo.com/cms/es\\_es/index.htm](https://www.festo.com/cms/es_es/index.htm)
- Rexroth Bosch Group <http://www.boschrexroth.com/en/xc/>
- Parker Hannifin Spain - Parker [www.parker.com/es](http://www.parker.com/es)
- SMC Corporation - <https://www.smc.eu/>
- Sun Hydraulics - [www.sunhydraulics.com](http://www.sunhydraulics.com)