



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Máster

CURSO 2016/17

*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
EXPERTO PARA EL SISTEMA CONTRAINCENDIOS
DE UN BUQUE MILITAR*

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNA/O

Alejandro Tizón Freijomil

TUTORAS/ES

Javier Bouza Fernández

Vicente Díaz Casás

FECHA

JUNIO 2017

1 TÍTULO Y RESUMEN

1.1 Español

Título del proyecto fin de máster:

- Diseño e implementación de un sistema experto para el sistema contraincendios de un buque militar.

Objetivos:

El presente proyecto tratará de satisfacer los siguientes objetivos:

- Estudiar el comportamiento del sistema contra incendios en un buque militar tipo y sus posibles situaciones de avería.
- Diseño y desarrollo de un sistema experto que no solo controle y supervise el sistema CI sino que solventa además una posible situación de avería en el sistema.

Descripción del alcance del TFM:

El presente TFM analiza previamente las situaciones de avería que pueden acontecer en el sistema contra incendios de un buque militar de apoyo logístico. Con ello se pretende diseñar un sistema experto que controle y supervise de forma óptima el sistema y que detecte de forma autónoma una posible avería preservando la operatividad del sistema. Para conseguir este fin el trabajo se ha desglosado en dos partes:

La primera parte se centra en la simulación, monitorización y actuación del sistema contraincendios tras haber detectado de forma autónoma una avería que inhabilite o ponga en riesgo el buque. Se representará mediante equipos autónomos un caso real.

La segunda parte versará sobre la evaluación de las alternativas disponibles y selección de la alternativa óptima. Cabe citar que en caso de ser necesarias labores de mantenimiento, dicho sistema solventará ciertas dificultades y reducirá el tiempo de indisposición del equipo o sistema en cuestión.

Toda la labor de experimentación y modelización se realizará en el laboratorio multidisciplinar de “Sistemas hidráulicos y neumáticos” y “Sistemas eléctricos y electrónicos del buque” de la EPS de Ferrol.

1.2 Gallego

Título do proxecto fin de máster:

- Deseño e implementación dun sistema experto para o sistema contra incendios dun buque militar.

Obxetivos:

- Estudio do comportamento do sistema contra incendios dun buque militar tipo e as posibles situacións de avería.
- Deseño e desenvolvemento dun sistema experto que non só controle e supervise o sistema CI, deberá ademais solventar unha posible situación de avería no sistema.

Descrición do alcance del TFM:

O presente TFM analiza previamente as situacións de avería que poden acontecer no sistema contra incendios dun buque militar de apoio loxístico. Desta forma preténdese deseñar un sistema experto que controle e supervise de forma óptima o sistema e que detecte de forma autónoma unha posible avería preservando a operatividade do sistema. Para conseguir este fin o traballo desglósase en dúas partes:

A primeira parte centrarse na simulación, monitorización e actuación do sistema contraincendios no intre de detectar de forma autónoma unha avería que inhabilite ou poña en risco o buque. Representarase mediante equipos autónomos un caso real. A segunda parte versará sobre a avaliación das alternativas dispoñibles e selección da alternativa óptima. Débese citar que no caso de ser necesarias labores de mantemento, dito sistema solventará certas dificultades e reducirá o tempo de indisposición do equipo ou sistema en cuestión.

Tódalas labores de experimentación e modelización realizaranse no laboratorio multidisciplinar de “Sistemas hidráulicos e neumáticos” e “Sistemas eléctricos e electrónicos do buque” na EPS de Ferrol.

1.3 Inglés

Final Master Project Title:

- Expert system design and implementation for fire-fighting system in one military vessel.

Objectives:

- Study the behavior of the fire fighting system on military type ship and the posible damage situations.
- Design and development of an expert system that supervises, controls, and solves the possible system fail.

TFM description:

- The present master project is about automation and fluids redirection in failure cases for fire-fighting system, its study is basing on vessels with military nature, where the redundancy on vital systems and equipment have more importance. The work will be divided in two main parts whose objectives are defined below:

On the one hand, a system simulation, monitoring and actuation of fire-fighting system after know one critical fail that it can be dangerous for equipment or vessel. A real case will be represented by autonomous equipment.

On the other hand, the evaluation of available alternatives and selection of optimal alternative. In maintenance case, this system will solve some difficulties and reduce the time on indisposition by real time control.

All this job of experimentation and modeling will be carried out in the muktidisciplinary laboratory ("Hydarulic and pneumatic systems" and "Electrical and electronic systems of the ships") of the EPS in Ferrol.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2016/17**

*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
EXPERTO PARA EL SISTEMA CONTRAINCENDIOS
DE UN BUQUE MILITAR*

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

2 INDICE

1 Título y Resumen.....	3
2 INDICE.....	11
3 PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	13
3.1 Objetivos.....	13
3.2 Metodología de trabajo	14
4 ANÁLISIS PREVIO Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	20
4.1 Reglamentación y Normativas	20
5 SELECCIÓN DEL BUQUE.....	25
6 ANÁLISIS DE DOCUMENTOS DE PARTIDA.....	25
6.1 Sistema de contraincendios con agua salada	25
7 SISTEMA DE CONTRA INCENDIOS CON AGUA SALADA	26
7.1 Descripción general del sistema	26
7.2 Caracterización del sistema	27
7.2.1 Válvulas.....	28
7.2.2 Consumidores	31
7.2.3 Modo de funcionamiento considerado	32
8 PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN DEL EQUIPO	34
8.1 Necesidad de seguir un buen plan de mantenimiento.....	34
8.2 Características.....	35
8.3 Selección de la metodología para crear el plan de mantenimiento:.....	35
8.3.1 FORMA 1.....	36
8.3.2 FORMA 2.....	37
8.3.3 FORMA 3.....	38
8.4 Concepto de mantenimiento	39
8.5 Niveles de mantenimiento.....	40
8.6 Mantenimiento basado en la condición del equipo	41
8.7 Inspecciones y pruebas	44
8.8 Plan de mantenimiento del sistema contraincendios.....	44
9 Arquitectura del programa.....	51
9.1 Subdivisión del proceso:	51
9.2 Describir las diferentes tareas y áreas	52
9.3 Determinación de los requerimientos de seguridad.....	52
9.4 Elementos de visualización y elementos de manejo y control	53
9.5 Creación de un plan de configuración.....	54

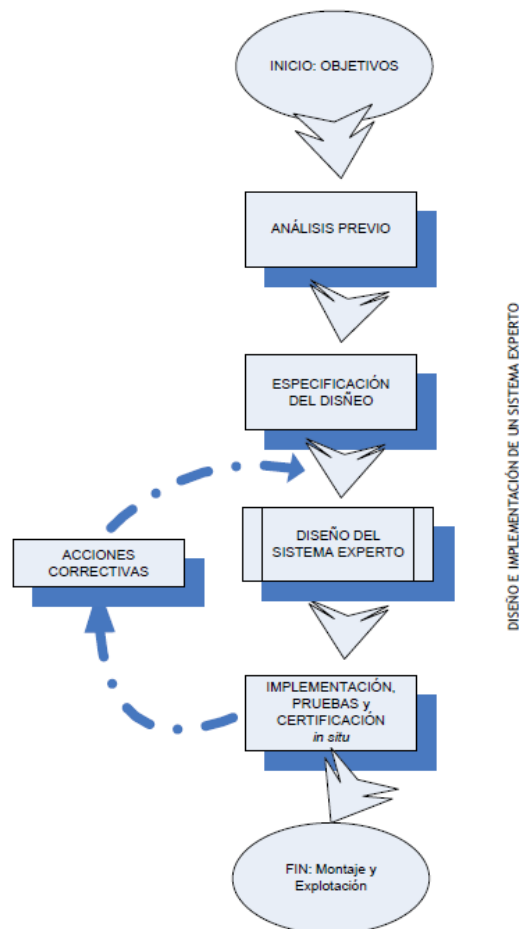
9.6 Caso de aplicación.....	54
10 ANALISIS DE MODOS DE FALLO	55
10.1 Análisis previo del sistema.....	55
10.1.1 Equipos de bombeo.....	55
10.1.2 Colector	56
10.2 Fallo en un tramo del sistema	58
10.2.1 Detección de anomalías	58
10.2.2 Modo de actuación	62
10.3 Fallo de los equipos de bombeo	63
10.3.1 Detección de anomalías	63
10.3.2 Modo de actuación	67
10.4 Análisis de los modos de fallo	67
11 SIMULACION DEL SISTEMA EXPERTO	69
11.1 Hardware	69
11.1.1 CPU.....	69
11.1.2 PLC (siemens).....	70
11.1.3 Sensorización	71
11.1.4 Fuente de alimentación.....	71
11.1.5 Cuadro de control y estado.....	72
11.1.6 HMI.....	73
11.2 Software	74
11.2.1 Lógica GENERAL del sistema	74
11.2.2 Grafcet.....	75
11.2.3 TIA PORTAL.....	81
11.3 Normalizado y escalado de variables analógicas.....	86
11.4 Bloques de programación principal	87
11.5 Cuadro de control y de estado integrado	99
12 PRESUPUESTO.....	105
12.1 Dimensionamiento	106
12.2 Equipos.....	106
12.3 Resumen	112
13 CONCLUSIONES	113
14 BIBLIOGRAFIA	115
15 ANEXO I	121
16 ANEXO II	12263
17 ANEXO III	177

3 PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 Objetivos

En este trabajo fin de máster se ha utilizado la metodología de trabajo implantada en el Laboratorio multidisciplinar de Hidráulica y Neumática y Sistemas Eléctricos y Electrónicos del Buque de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol para el desarrollo de sistemas expertos por el profesor Javier Bouza junto con el profesor Vicente Díaz. El fundamento de la misma se puede resumir en la siguiente frase “una evolución desde el principio al acabado”, es decir, en primer lugar, se realizará una descripción aproximada del concepto de referencia para posteriormente ir perfeccionándolo hasta adquirir una descripción precisa. De esta forma, entendemos que es posible minimizar los riesgos inherentes a su realización técnica, utilización, el tiempo y el coste. A continuación, mediante el siguiente organigrama, detallamos, el procedimiento que se ha seguido.

Organigrama 1: Organigrama de la metodología de trabajo



Fuente: Compendio de información facilitada por el tutor “Javier Bouza”

Partiendo del organigrama de la figura, se inicia el proyecto con la identificación y definición de “Objetivos” a lograr e implícitamente la “Metodología de Trabajo” a seguir.

La palabra objetivo proviene de la raíz latín "ob-jactum" que significa "a donde se dirigen nuestras acciones" y aplicado a nuestro Trabajo Fin de Master, 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 nuestras capacidades técnicas o de nuestro equipo de trabajo y de los recursos materiales disponibles para asegurar los objetivos pretendidos.

Los objetivos que se quieren alcanzar:

- *Control del sistema contraincendios de un buque tipo militar.*
- *Adaptación del sistema a cada posible condición operativa del buque.*
- *Monitorización del estado del sistema y sus componentes.*
- *Gestión del sistema ante el fallo de un elemento principal o un tramo de tubería.*

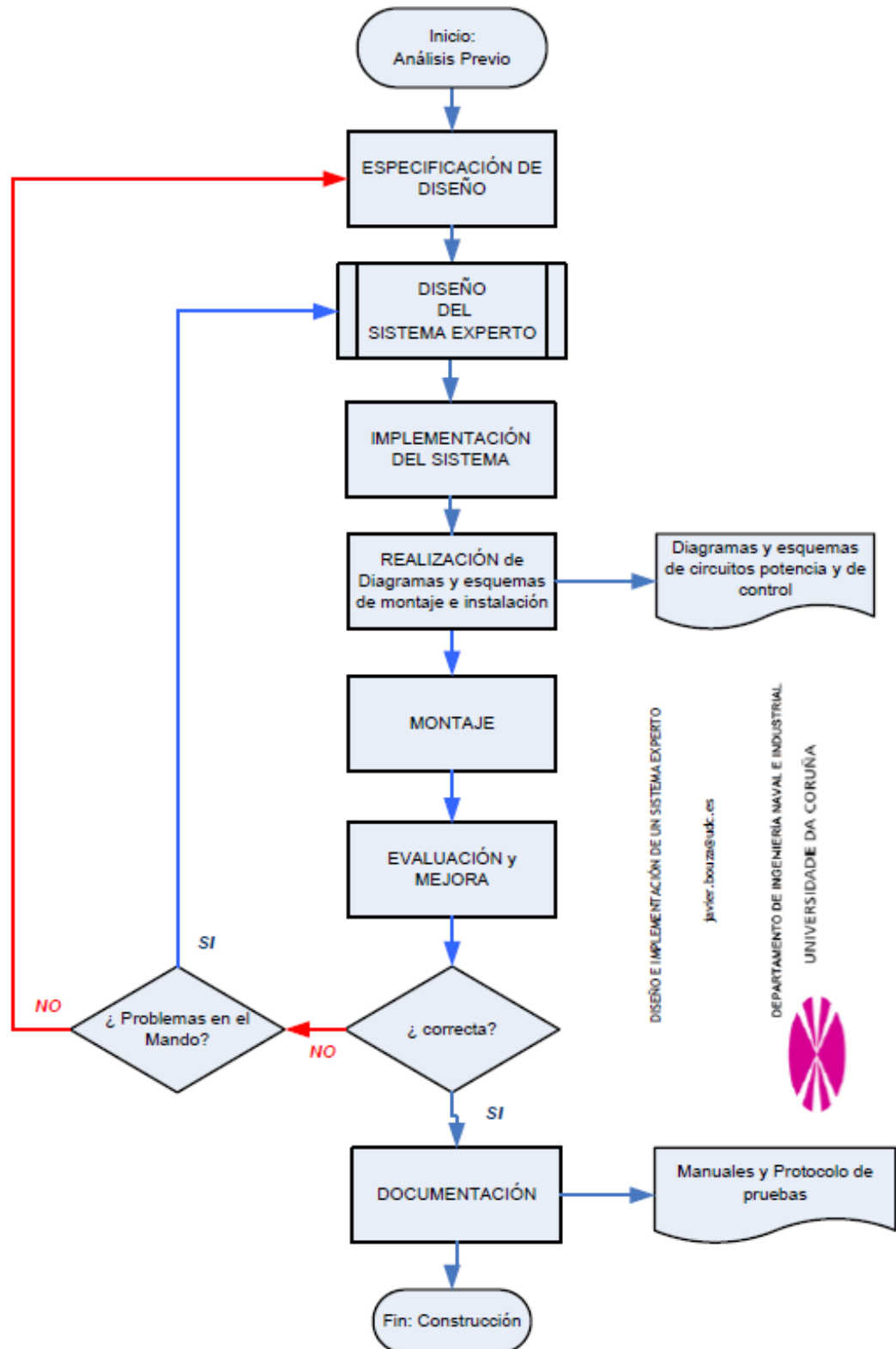
3.2 Metodología de trabajo

Una vez establecido los objetivos de este Trabajo Fin de Master, en este caso no solo el control experto del sistema contra incendios de un buque tipo militar sino también la gestión y resolución óptima, sin repercutir en la operatividad del sistema, ante una posible avería.

Continuando el método de trabajo (ver organigrama 1) se realiza un análisis previo consistente en la recopilación de información y en familiarizarse con el funcionamiento de los sistemas contraincendios en buques: para ello se ha partido de un buque militar logístico a fin de poder extrapolar el sistema, en la medida de lo posible, otras posibles variantes. Este 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 trabajo, y además servirá como indicador final para valorar la calidad de nuestro diseño.

Completadas todas estas etapas, empieza la fase propiamente de diseño que denominamos "Diseño e Implementación del Sistema Experto". Se parte del concepto de la "Cadena de Mando" empleado en la tecnología de la automatización. Este concepto se desglosa en cinco bloques, de los cuales cuatro constituyen el mando propiamente dicho (entrada de señales, procesamiento de señales, salida de señales e interfaces de usuario o HMI) y una la parte operativa del sistema. Son estos dos subsistemas: mando y operativo sobre los cuales se estructura la planificación del proceso de Diseño. En el siguiente organigrama se detalla con mayor profundidad el procedimiento que se ha seguido en este Trabajo Fin de Master.

Organigrama 2: Organigrama del procedimiento de diseño y desarrollo del sistema experto



Fuente: Compendio de información facilitada por el tutor "Javier Bouza"

En lo concerniente al desarrollo del subsistema operativo o parte operativa del sistema experto es necesario un conocimiento de la tecnología o tecnologías empleadas. El menospreciar este hecho puede traer consigo no sólo pérdidas irreparables sino poner en riesgo la propia vida humana.

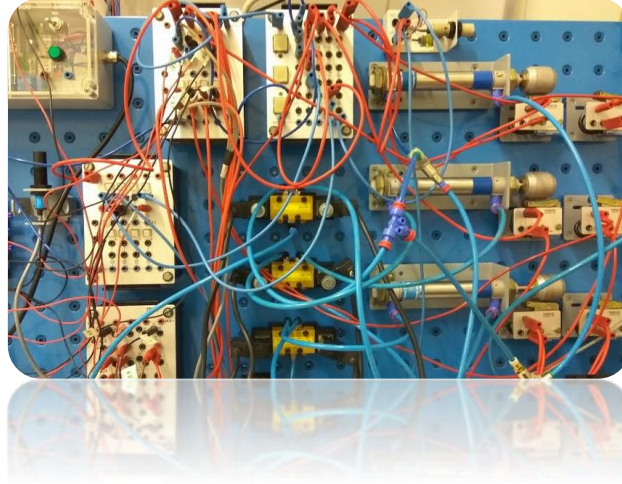
En cuanto al subsistema de mando se expone, a continuación, los aspectos a realizar:

1. Introducción a los equipos y software a emplear. Para conocer las posibilidades que ofrece el entorno de trabajo es necesario realizar pequeñas prácticas de montaje, in situ, y programación, de tal modo que antes de iniciar la programación del sistema experto objeto de este trabajo se haya interactuado con los distintos equipos y elementos que se utilizaran.
2. Finalizada la aproximación al entorno de trabajo se procede a realizar un esquema simple en el cual se dividen los objetivos en metas de menor nivel, de tal forma que se adquiera una mayor conciencia de lo que debe gobernar el programa.
3. Conocidos los objetivos de bajo nivel y antes desarrollar el algoritmo de control se realiza un listado de las funciones internas que debe contener el programa. Se analiza específicamente el PLC y sus funciones internas (la existencia de una función específica simplifica de forma importante la tarea de posterior de programación).
4. Realizados los pasos anteriores se desarrolla el algoritmo de control mediante GRAFCETS. Estos se realizan en primer lugar en formato papel. Lo cual, no sólo permite comprender cada etapa o proceso dentro del contexto global del programa sino que permite seguir un procedimiento adecuado para la implementación y prueba del programa.
5. Es el momento de transcribir el algoritmo de control al PLC: en nuestro caso, se traduce en el programa en lenguaje KOP realizado en el software TIA Portal v13. Una vez introducido se realizan simulaciones, cuyo objetivo es detectar errores y optimizar el programa.
6. Finalizado el programa es momento de realizar las pantallas HMI para lo cual se realiza un listado de las tareas que se quieren mostrar. Finalizado el listado se procede, en papel, a dibujar un pequeño boceto de la/s pantalla/s a realizar.
7. Realizadas las pantallas se vinculan las variables del programa con el HMI para después realizar nuevas simulaciones para comprobar el correcto funcionamiento de todo el sistema experto.

A modo de documentar las pautas anteriores para la etapa de Diseño propiamente dicho: se desarrolló un programa “más simple” centrado únicamente en el control operativo del sistema contra incendios del buque militar planteado. Con ello, se tomó no sólo contacto con el funcionamiento normal del sistema sino, también, con los diferentes componentes que lo integran. Este primer diseño montado en el laboratorio, permitió comprender puntos fuertes y débiles del programa desarrollado.

Al mismo tiempo, también, permitió analizar el comportamiento de los elementos que lo integran. La siguiente fotografía muestra un panel neumático donde se simulan, mediante cilindros neumáticos, la apertura y cierre de los diferentes grupos de válvulas.

Fotografía 1: Panel preliminar



Fuente: Elaboración propia

Una vez comprendido y familiarizado con el sistema a diseñar, se desarrolló los GRAFCETs del sistema que responde a los objetivos y especificación del diseño. Estos organigramas no sólo permitieron entender el funcionamiento sobre el cual se basa el sistema experto sino que, también, permitieron implementar su algoritmo de control. En concreto, se crearon dos grafcets: el grafcet de control y el grafcet de avería. Este último indica el procedimiento a seguir en caso de avería y es de un nivel superior que el grafcet de control, por lo que dominará el funcionamiento del sistema contra incendios en caso de avería.

Con los grafcets desarrollados, se pasó a programar los diferentes segmentos en lenguaje KOP que constituyen el programa en el PLC. Luego se comenzará una etapa de pruebas offline en el programa de control: “se han realizado diferentes ensayos y simulaciones hasta lograr un programa competente”. La siguiente fotografía muestra una de las simulaciones realizadas con el panel HMI creado para la primera versión del programa.

Fotografía 2: Equipos informáticos



Fuente: Elaboración propia

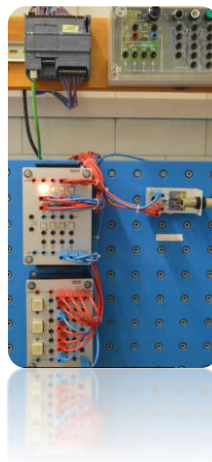
Finalmente, una vez obtenido un programa que ha pasado las simulaciones con éxito y cumple con los objetivos iniciales se pasa a la fase de implementación. Dicha fase es donde se realiza la selección de los actuadores, fuentes y elementos de control y regulación del flujo de potencia. En esta labor, tiene un carácter vinculante la determinación de las magnitudes como la presión, el caudal, las fuerzas o pares, las velocidades, las condiciones de trabajo definidas en las etapas anteriores de la especificación y desarrollo del subsistema operativo. Todo ello, determinará el dimensionamiento y selección de los elementos a emplear.

Una vez concluida la Implementación se realiza el montaje del sistema diseñado con toda labor e información generada en las etapas anteriores en el Laboratorio multidisciplinar de Hidráulica y Neumática y de Sistemas eléctricos y electrónicos del Buque de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol. Para llevar a buen fin esta labor, es indispensable tener en cuenta algunas pautas fundamentales:

- *Respectar las normas y recomendaciones de seguridad.*
- *Recurrir a los esquemas de distribución y asegurarse de que están a mano.*
- *Seguir reglas básicas para la instalación y conexión de componentes*
- *Proceder al montaje según órdenes previamente definidas*
- *Sólo después de haber revisado nuevamente el montaje y las conexiones de los elementos es recomendable poner en marcha el equipo.*

Siguiendo estas pautas, se ha montado un panel final de simulación prestando atención tanto a la operatividad como a la presentación del mismo. Este panel permite simular el sistema y el programa de control sin necesidad de usar el HMI. Para la situación de avería, se ha actuado sobre el sensor de presión para simular la caída de presión y comprobar la actuación del sistema. Empleando pulsadores se logra simular las diferentes condiciones operativas que podrían darse, por lo que se asegura el buen funcionamiento del programa.

Fotografía 3: Montaje del sistema



Fuente: Elaboración propia

La fase de “Evaluación y Mejora” se realiza una vez completado el “Montaje”. En este punto, el objetivo fundamental es eliminar cualquier fallo en la instalación o error creado durante las fases anteriores. Consiste en realizar un control completo y exhaustivo del funcionamiento, de las condiciones operativas y de la seguridad del sistema diseñado. También en esta fase se incluyen mejoras destinadas a simplificar el código, ajuste de temporizadores, o el normalizado y escalado de las variables analógicas.

Por último, y no menos importante, la documentación que es un requisito previo esencial para facilitar el montaje, la puesta a punto y el mantenimiento del sistema diseñado in situ. En nuestro caso, al ver un claro objetivo educativo, se ha desarrollado una documentación a tal fin que está reflejada en este Trabajo Fin de Master.

4 ANÁLISIS PREVIO Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

4.1 Reglamentación y Normativas

- Reglamento de Contenedores, Decreto Supremo N° 09-95-EF del 06/01/95.
- Directiva CE 2006/95/CE (Directiva de baja tensión) "Material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión" – EN 61131-2:2007 Autómatas programables - Requisitos y ensayos de los equipos.
- Informe para el comité de seguridad marítima, publicado por la OMI. Subcomité de transporte de mercancías peligrosas, cargas sólidas y contenedores 11º periodo de sesiones, punto 19 del orden del día. 22 de septiembre de 2006.
- C152 Convenio sobre seguridad e higiene (trabajos portuarios), 1979; publicado por Organización Internacional del Trabajo.
- Seguridad y salud en los puertos; publicado por la OIT.
- Guidance on container handling; Publicado por el Health and Safety Executive del Reino Unido.
- Convenio internacional sobre la seguridad de los contenedores (CSC); publicado por la Organización Marítima Internacional con fecha de aprobación: 2 de diciembre de 1972 y entrada en vigor: 6 de septiembre de 1977
- R160 Recomendación sobre seguridad e higiene (trabajos portuarios), 1979; publicado por la Organización Internacional del Trabajo.
- Código de prácticas OMI/OIT/CEPE- Naciones Unidas sobre la arrumazón de las unidades de transporte. (CTU). Enero de 2014.
- 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.
- SO 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 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-3:2009 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-4-1/A1:2003 Aparata de baja tensión. Parte 4-1: Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos.
- UNE-EN 60947-4-3:2002/A1:2007 Aparata 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 Aparata 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 Aparata 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 Aparata 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 Aparata 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 Aparata 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 Aparata de baja tensión. Parte 5-2: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-3:2000 Aparata 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 Aparata 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 Aparata de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.

- UNE-EN 60947-7-2:2003 Aparata 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 Aparata 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 Aparata 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".

5 SELECCIÓN DEL BUQUE

Tras haber explicado brevemente la finalidad del proyecto, llevamos a cabo la selección de un buque sobre el cual trataremos de implantar el sistema experto, el objetivo último de la línea es la aplicación de los resultados a las nuevas Fragatas F110; debido a la escasa disponibilidad de diseños maduros de los sistemas que son objeto de estudio, se utilizarán documentos de buques similares a fin de obtener resultados extrapolables a las Fragatas F110.

6 ANÁLISIS DE DOCUMENTOS DE PARTIDA

Para la elaboración del presente apartado se han analizado los siguientes documentos, correspondientes al buque seleccionado, permitiendo conocer en mayor medida los detalles necesarios de cara al estudio de implantación del sistema experto, se ha analizado en detalle el sistema contraincendios de dicho buque. Otro sistema contemplado a fin de estudio ha sido el sistema de agua refrigerada dada su similitud operativa.

6.1 Sistema de contraincendios con agua salada

ESPECIFICACIÓN DE CONTROL DE AVERÍAS:

Los objetivos de este documento son: por una parte, definir las funciones de control, automatización y/o vigilancia realizado por el Sistema Integrado de Control de la Plataforma (en adelante, SICP) para los sistemas del buque destinados al control de averías, control de daños, o de seguridad interior y que denominaremos, genéricamente y en adelante, "sistema de control de averías". Por otra banda demostrar el cumplimiento con los requisitos de la Sociedad de Clasificación Bureau Veritas (Rules for Classification of Naval Ships, September 2006) en los que se refiere a las notas de clase AUT-QAS y AUT-PORT. En buques de guerra el sistema de control de averías comprende los sistemas de la plataforma cuya función es evitar, limitar y controlar los efectos de los incendios, explosiones, inundaciones y contaminación, así como mantener la movilidad, capacidad de combate y la seguridad del personal del buque.

DEFINICIÓN SISTEMA CONTRAINCENDIOS – BUQUE DE ACCIÓN MARÍTIMA:

Este documento tiene por objeto describir de forma conceptual el sistema de Contraincendios con agua salada del buque, definiendo sus características principales y desarrollando los cálculos de dimensionamiento del sistema. Se engloban en el contenido de este los sistemas de contraincendios con agua salada y el sistema de rociado, también con agua salada.

- Plano: ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – FUNCIONAL
- Plano: ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – TECHO DE TANQUES
- Plano: ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – SEGUNDA CUBIERTA
- Plano: ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – CUBIERTA PRINCIPAL
- Plano: ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – NIVEL 01
- Plano: ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – NIVEL 02 Y SUPERIORES
- ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – TABLA DE SÍMBOLOS
- ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – TABLA DE EQUIPOS Y MARCAS
- ADELANTO MATERIAL ESQUEMA CONTRAINCENDIOS CON AGUA SALADA

7 SISTEMA DE CONTRA INCENDIOS CON AGUA SALADA

7.1 Descripción general del sistema

El sistema de contraincendios suministra agua salada a presión a todos los consumidores implantados en el sistema contraincendios del buque. Realizará además el suministro de agua a presión para otros servicios especializados de lucha contraincendios, así como a otros sistemas y consumidores en el buque.

El sistema contraincendios será un sistema húmedo presurizado que será alimentado con agua salada por medio de cuatro bombas centrífugas de 200 m³/h y 12 bar, diseñadas para funcionamiento continuo, dotadas con regulador de velocidad y que aspirarán directamente desde los respectivos colectores situados en la misma cámara en la que se encuentren localizadas.

El buque está dividido transversalmente por un mamparo en la cuaderna 66, que divide el buque en dos zonas principales de fuego. Las bombas de C.I. se encuentran situadas bajo la línea de flotación, con el siguiente emplazamiento:

- Dos bombas en la Cámara de Auxiliares
- Una bomba en la Cámara de Máquinas de Proa
- Una bomba de la Cámara de Máquinas de Popa

Cada zona de fuego dispone de 2 bombas con una capacidad de 200m³/h y 12 Bar (400 m³/h en cada zona). Además, las bombas de C. I. deben tener la capacidad suficiente para suministrar el caudal máximo requerido por el sistema de C.I. del buque con una bomba fuera de servicio. El caudal máximo en esta condición es de 600 m³/h. Además el anillo de C.I. estará constantemente presurizado, siendo suficiente el funcionamiento de una bomba para mantener la presión de 7 kg/cm² (6,87 bar) en el punto más alto del circuito.

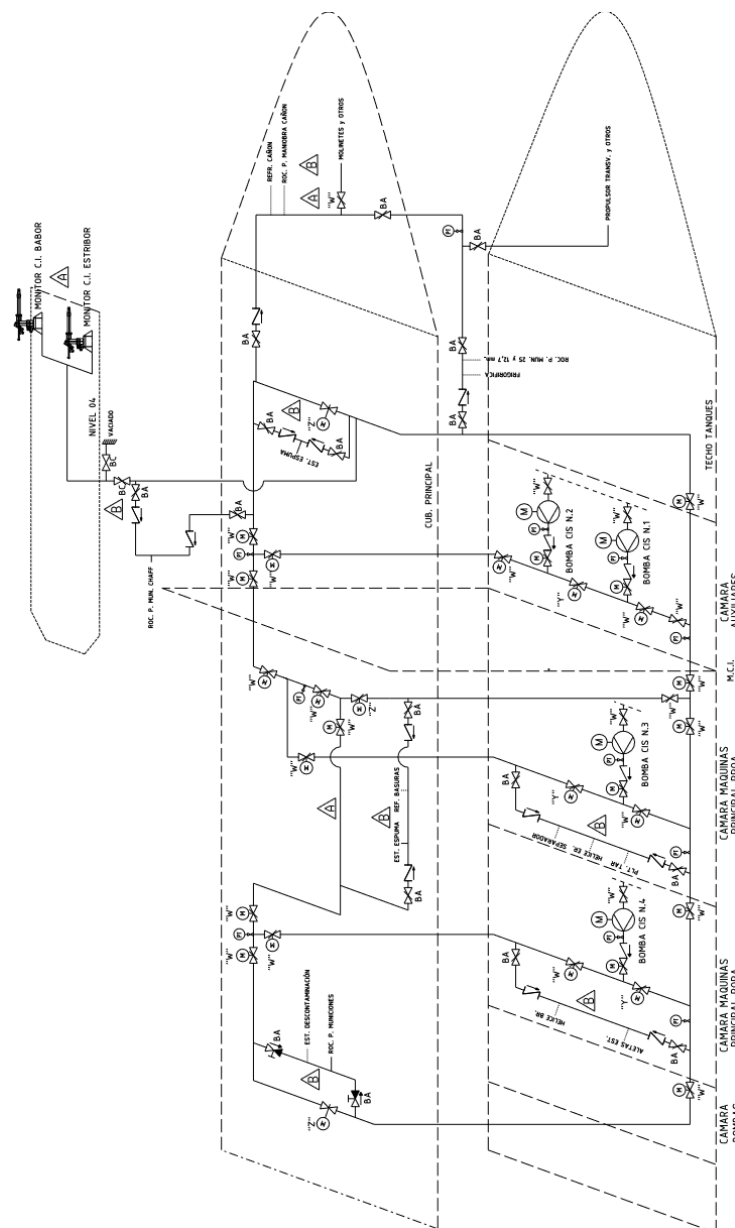
Todo esto contará, también, con un sistema de anillo vertical, el cual estará subdividido en dos colectores que serán, principalmente, horizontales. El colector superior estará ubicado sobre la cubierta principal y, por su parte, el colector inferior se encontrará bajo la segunda cubierta.

Cada uno de los dos colectores horizontales longitudinales que conforman el anillo de C.I. el cual posee una capacidad suficiente para que, en el caso de ocurrencia de emergencia, y con una velocidad inferior a 6,4 m/s, podre suministrar el caudal total requerido por el sistema de C.I.

7.2 Caracterización del sistema

Tal y como se ha expuesto el sistema consta de 2 colectores principales uno superior y otro inferior. A continuación se presenta el esquema general correspondiente al buque que ha sido seleccionado con la finalidad de ser estudiado:

Imagen 1: Disposición general



Fuente: 5212001B4A - ESQUEMA CONTRAINCENDIOS – FUNCIONAL (S.F.)

7.2.1 Válvulas

Se ha llevado a cabo una identificación de las válvulas que contiene el sistema. En este caso, las válvulas se han definido/numerado de acuerdo a 3 niveles:

- Aquellas que se encuentran en los colectores principales (nivel "A")
- Aquellas que se encuentran dispuestas en los diferentes ramales (nivel "B")
- Aquellas válvulas que estén conectadas a un consumidor (o bomba) (nivel "C")

Tabla 1: Válvulas del sistema

VÁLVULAS (COLECTORES PRINCIPALES)					
VA01	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA14	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA02	W	Válvula mariposa	VA15	Y	Válvula compuerta accionada por motor eléctrico
VA03	Y	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA16	Y	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA04	Z	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA17	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA05	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA18	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA06	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA19	Y	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA07	W	Válvula mariposa	VA20	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA08	Z	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA21	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA09	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA22	Z	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico

VA10	Y	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA23	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA11	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA24	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA12	Z	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA25	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VA13	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico	VA26	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico










VÁLVULAS (RAMALES)					
VB01	BA	Válvula mariposa	VB12	BA	Válvula mariposa
VB02		Válvula de retención, paso recto	VB13		Válvula de retención, paso recto
VB03		Válvula de retención, paso recto	VB14	BA	Válvula mariposa
VB04	BA	Válvula mariposa	VB15	BA	Válvula mariposa
VB05	BA	Válvula mariposa	VB16		Válvula de retención, paso recto
VB06		Válvula de retención, paso recto	VB17		Válvula de retención, paso recto
VB07		Válvula de retención, paso recto	VB18	BA	Válvula mariposa
VB08	BA	Válvula mariposa	VB19	BA	Válvula mariposa
VB09	BA	Válvula mariposa	VB20		Válvula de retención, paso recto
VB10	BA	Válvula mariposa	VB21		Válvula de retención, paso recto
VB11		Válvula de retención, paso recto	VB22	BA	Válvula mariposa

VÁLVULAS (CONSUMIDORES/BOMBAS)		
VC01	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VC02		Válvula mariposa
VC03	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VC04		Válvula mariposa
VC05	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VC06		Válvula mariposa
VC07	W	Válvula mariposa accionada por motor eléctrico
VC08		Válvula mariposa
VC09	W	Válvula mariposa
VC10	BA	Válvula de globo o cierre, paso recto
VC11	BC	Válvula de globo o cierre, paso recto

Fuente: Elaboración propia en base a la disposición general

A continuación se muestra una tabla en la cual se detallan las diferentes tipologías de válvulas siguiendo el estándar empleado en el buque:

Imagen 2: Simbología de válvulas

	VAL VUL A DE MARIPOSA
	VAL VUL A MARIPOSA ACCION. POR MOTOR ELECTRICO
	VAL VUL A DE RETENCION, PASO RECTO
	VAL VUL A COMPUER TA ACCION. POR MOTOR ELECTRICO
	VAL VUL A DE BOLA
	VAL VUL A DE GLOBO CON CONEXION MANGUERA
	VAL VUL A DE RETENCION Y CIERRE
	VAL VUL A DE GLOBO O CIERRE, PASO RECTO
	VAL VUL A DESCARGA AL COSTADO

Fuente: Documento 5212001A1A (S.F.)

En cuanto a la condición de las válvulas según la condición operativa:

- “X”: Estas válvulas están siempre cerradas.
- “Y”: Abiertas en puerto y cerradas en navegación
- “Z”: Abiertas salvo en situación de “zafarrancho de combate”
- “W”: Siempre abiertas

Dicho esto, se debe citar que tanto las válvulas que separarán el buque —ya sea separado en dos o en cuatro zonas independientes, según la condición en la que se encuentre el buque—, cómo las demás válvulas de los colectores, pasarán ahora a ser motorizadas debido a que el control de las mismas pasará a ser por parte del sistema experto según la condición, o a encontrarse en buque en situación de emergencia.

7.2.2 Consumidores

Se indican ahora los caudales estimados en cada ramal salvo aquellos que por cuestiones técnicas no ha sido posible aproximar, dichos datos serán empleados más adelante a fin de conocer las diferentes presiones en los sensores de presión, con esto, se busca conocer a que valores se les debe atribuir la condición de “Activación de Alarma” y con qué valores el sistema deberá iniciar un aislamiento del tramo y la consiguiente redistribución del sistema.

Tabla 2: Estimación de requerimientos de caudal

RAMAL	CONSUMIDORES	CAUDAL
RAMAL01	Separador	10 lit/sep
RAMAL02	Planta Tratamiento de Aguas Residuales	5 m3/h
RAMAL03	Rociador Pañol Municiones	6.8 m3/h
RAMAL04	Hélice Br	-
RAMAL05	Estación de espuma	155 m3/h
RAMAL06	Hélice Er	
RAMAL07	Monitor C.I Babor	400 m3/h
	Monitor C.I Estribor	400 m3/h
	Vaciado	-
RAMAL08	Estación de espuma	155 m3/h
RAMAL09	Planta Frigorífica	10 m3/h
	Rociador Pañol Maniobra Cañón	91.2 m3/h

Fuente: Elaboración propia en base a disposición general y listado de equipos

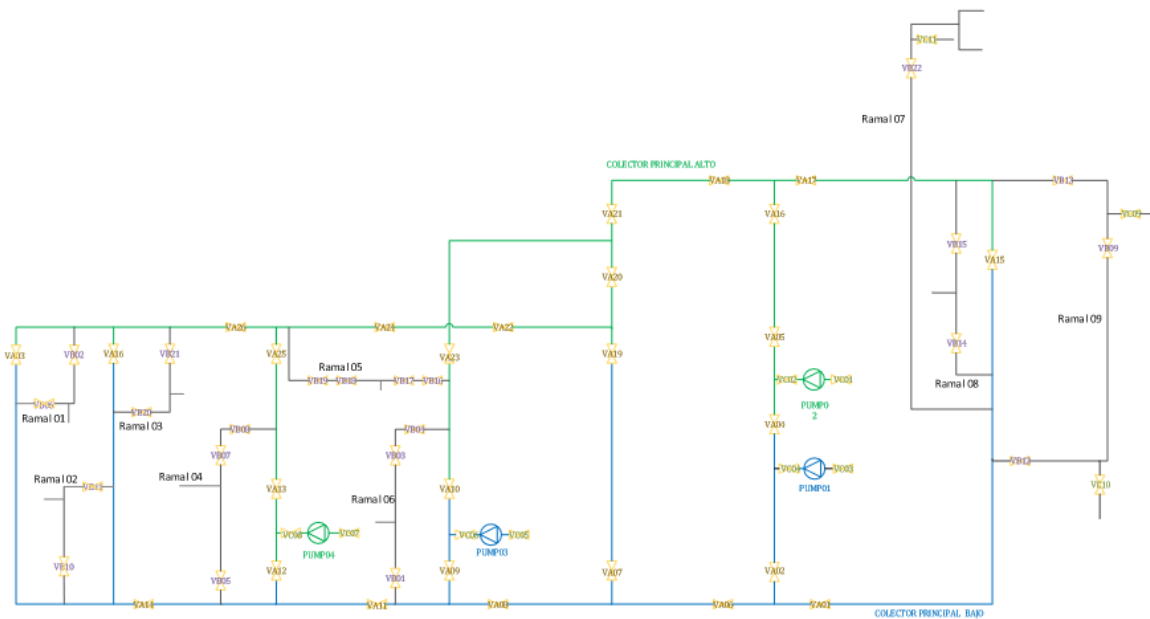
7.2.3 Modo de funcionamiento considerado

Se llevará a cabo el estudio considerando que el buque se encuentra tanto en condición Zafarrancho de Combate, en adelante ZEBRA, coincidiendo esta con el modo de emergencia del sistema experto, cómo el modo de navegación. En ambos casos, ante una situación de emergencia o activación del modo ZEBRA, la primera acción del sistema es pasar a condición “z”: todos los sistemas vitales deben de estar atendidos, y la consiguiente segregación del sistema, debiendo otorgar las bombas una presión nominal de 9 bar a su respectiva zona ya que como se ha mencionado con anterioridad, la condición ZEBRA implica la separación del buque en 4 zonas independientes.

7.2.3.1 Esquema simplificado del sistema

Se muestra, a continuación, el esquema simplificado del sistema contra incendios del buque que se tomará como punto de partida para realizar el presente TFM, según la condición operativa en la que se encuentre el buque.

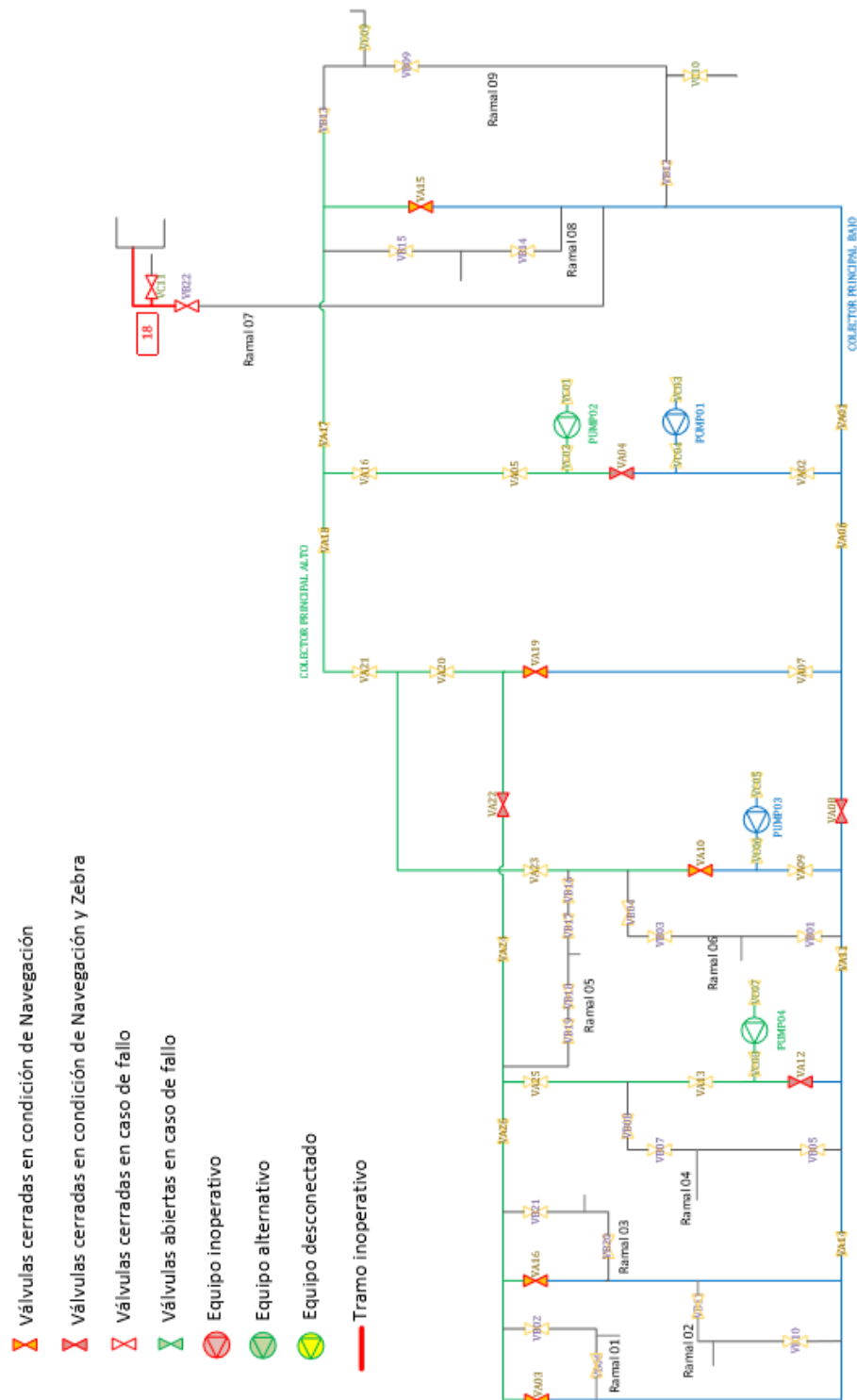
Imagen 3: Planteamiento de la disposición general



Fuente: Elaboración propia en base a la disposición general

La siguiente imagen hace referencia al modo de fallo 18, en dicha imagen se muestra la localización tanto de las válvulas activadas en condición de navegación (dividiendo el sistema en dos zonas independientes), cómo de las válvulas activadas tanto en condición ZEBRA, como en condición de navegación (dividiendo el sistema en cuatro zonas independientes).

Imagen 4: Situación de válvulas (modo de fallo 18)



Fuente: Elaboración propia en base a la disposición general y condición de navegación

8 PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN DEL EQUIPO

Otra cuestión importante es aquella que tiene en cuenta la capacidad de lograr un mantenimiento basado en la condición de los equipos de forma que ante la primera anomalía o desviación según las gráficas de trabajo proporcionadas por los fabricantes el sistema experto proceda de forma segura desconectando los mismos. Por otro lado, se facilita el control de las tareas necesarias para llevar a cabo dicho mantenimiento, ya que se sustituyen todas las acciones destinadas a comprobar las constantes de los equipos por un sistema capaz de realizar un seguimiento continuo y al mismo tiempo controlar diferentes alarmas según la gravedad. En otras palabras, permitir a los operarios liberarse de multitud de tareas repetitivas.

Tras esta breve introducción, nos centraremos en los diferentes factores a tener en cuenta para lograr un buen plan de mantenimiento basado en la condición de los equipos.

8.1 Necesidad de seguir un buen plan de mantenimiento

En un buque, tanto la fiabilidad como la disponibilidad son factores clave sobre todo al tratarse de un buque de índole militar, dichos factores dependen de diferentes factores:

1. Diseño y de la calidad de su montaje.
2. Forma y buenas costumbres del personal de producción.
3. Mantenimiento que se realice.

Muchas veces acaba siendo más económico sustituir un equipo que realizar las labores de mantenimiento necesarias ante diferentes reparaciones que se van presentando. Esto cambia con la tecnología. Se debe prestar atención a que las labores de mantenimiento no tienen efecto de manera inmediata (excepto mantenimiento correctivo) sino que los efectos de las acciones realizadas se manifiestan meses o incluso años después. Tras haber expuesto esto, debemos tener en cuenta que el momento idóneo para la implantación del plan de mantenimiento, o en nuestro caso, del sistema experto, se produce durante la construcción del buque, controlando desde el primer día el sistema.

Perder esa oportunidad significaría renunciar a que la mayor parte del mantenimiento sea programado, y caer en el error de que sean las averías, y no el plan, las que dirijan la actividad del departamento de mantenimiento.

Es habitual prestar mucha importancia al mantenimiento de los equipos principales y no preocuparse, en la misma medida, de todos los equipos adicionales o auxiliares y esto es un grave error ya que pueden ocasionar serios daños al buque o incluso obligarlo a cesar su actividad y precisar apoyo ya sea en alta mar o en puerto. El sistema experto logra reducir dichos riesgos al permitir un control absoluto sobre todos y cada uno de los posibles puntos críticos, entendiendo como tales, los equipos más costosos económicamente y a equipos capaces de provocar fallos críticos.

En nuestro caso, se contemplarían los equipos de bombeo, los propios conductos y la totalidad de las válvulas junto a sus sensores de presión, ya que el análisis de sensores contiguos puede indicar que un sensor este fallando, aumentando así la propia seguridad del sistema.

8.2 Características

Un buen plan de mantenimiento es aquel que ha analizado todos los posibles fallos, y que ha sido diseñado para evitarlos, por lo que es necesario realizar un análisis detallado de fallos de todos los sistemas que componen la planta, este análisis raramente se realiza, excepto en los equipos más costosos siendo estos realizado por el fabricante del equipo, motivo por el cual debe seguirse lo indicado por el fabricante. Pero el resto de equipos y sistemas que componen la planta, capaces de parar o provocar un grave problema en la planta, también deben estar sujetos a los análisis. Si bien no se dispone de los recursos necesarios para realizar este estudio de forma previa a la entrada en funcionamiento o, por otra parte, ya está en funcionamiento cuando se plantea la necesidad de elaborarlo, dividido en dos fases:

1. Realizar un plan inicial basado en instrucciones de los fabricantes (modo básico de elaborar un plan) o en instrucciones genéricas según el tipo de equipo, completados siempre por la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan en la planta, y las obligaciones legales de mantenimiento que tienen algunas instalaciones. Este plan puede elaborarse con rapidez.

2. Con el plan ya en funcionamiento, realizar un plan más avanzado basado en el análisis de fallos de cada uno de los sistemas que componen la planta. Este análisis permite diseñar el plan de mantenimiento y además proponer mejoras que eviten esos fallos, crear procedimientos de mantenimiento o de operación y seleccionar los repuestos necesarios.

En nuestro caso, dado que el buque ya se encuentra operativo y el plan de mantenimiento únicamente deberá actualizarse teniendo en cuenta la revisión de los nuevos componentes que se deberían incluir para dicha implementación, utilizando para ello, la documentación entregada por los propios fabricantes.

8.3 Selección de la metodología para crear el plan de mantenimiento:

La elaboración de un plan de mantenimiento puede hacerse de tres formas:

1ª forma: Realizando un plan basado en las instrucciones de los fabricantes de los diferentes equipos que componen la planta.

2ª forma: Realizando un Plan de Mantenimiento basado en instrucciones genéricas y en la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan en la planta.

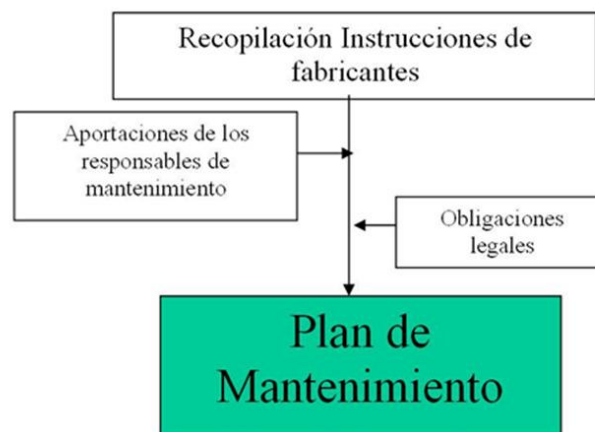
3ª forma: Realizando un plan basado en un análisis de los fallos que pretenden evitarse.

En plantas buques o sistemas del mismo sin un plan de mantenimiento implantado, puede ser conveniente hacer algo sencillo y ponerlo en marcha. Suele hacerse siguiendo las recomendaciones de los fabricantes o basándose en la experiencia.

8.3.1 FORMA 1

Se deben seguir 3 fases:

Esquema 1: Plan de mantenimiento (Forma 1)



Fuente: Compendio de apuntes de la materia "Apoyo logístico integrado"

Fase 1: Recopilación de manuales y de instrucciones de los fabricantes.

Se realizará un plan de mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes de los diferentes equipos que requiere el sistema experto. Esto consiste en recopilar toda la información existente en los manuales de operación y de mantenimiento de dichos equipos y dotarlos del formato determinado.

Es conveniente hacer una lista previa con todos los equipos significativos del buque. Para así, a continuación, poder obtener los manuales de todos esos equipos. Finalmente se recopilará toda la información del apartado "mantenimiento preventivo" que figura en esos manuales y se agrupará de forma operativa. Si el equipo de mantenimiento está dividido en personal mecánico y personal eléctrico, es útil dividir las tareas de mantenimiento según especialidades.

Fase 2: Recopilación de la experiencia de los técnicos

Llegados a este punto el plan de mantenimiento todavía no estaría completo, sino que es conveniente contar con la experiencia tanto de las personas responsables de mantenimiento como la del propio personal técnico para completar las tareas que pudieran no estar incluidas en la recopilación de recomendaciones de fabricantes ya sea porque:

1. El fabricante no busca la desaparición total de problemas. Esto se debe a que cero averías pueden afectar a su facturación.
2. El fabricante no es un especialista en mantenimiento, sino en diseño y montaje.
3. Hay ocasiones en que el Plan de Mantenimiento del fabricante es tan exhaustivo que contempla la sustitución o revisión de un gran número de elementos que evidentemente no han llegado al máximo de su vida útil, con el consiguiente gasto excesivo.

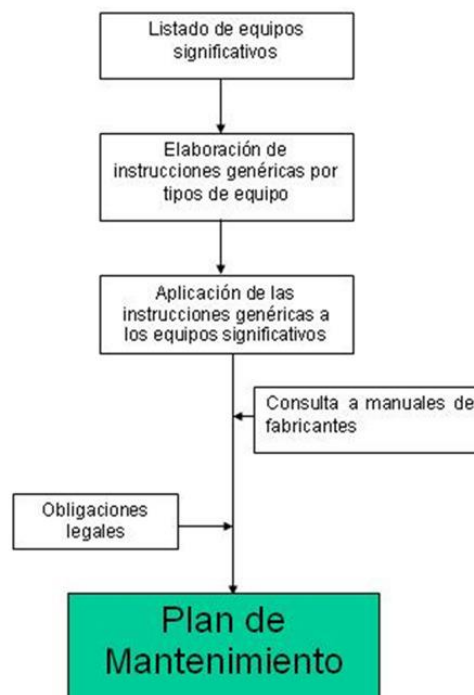
Es importante recordar al personal encargado de la instalación del sistema y contar con la experiencia tanto de electrónicos como de programadores, personal que conforme aumenta la automatización de los buques se vuelven más imprescindibles.

Otro punto de vital importancia reside en que conforme aumenta el número de intervenciones de mantenimiento, más posibilidades de facturación tiene el fabricante del equipo. Además del problema con la garantía, es decir, si un fabricante propone multitud de tareas y estas no se llevan a cabo, el fabricante puede alegar que el mantenimiento preventivo propuesto por él no se ha realizado, y esa es la razón del fallo, no haciéndose pues responsable de su solución en el periodo de garantía.

8.3.2 FORMA 2

Realizando un plan basado en instrucciones genéricas y en la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan en la planta.

Esquema 2: Plan de mantenimiento (Forma 2)



Fuente: Compendio de apuntes de la materia "Apoyo logístico integrado"

La consulta a los manuales de los fabricantes se hace después de haber elaborado un 'borrador' inicial con idea de complementarlo. Esa es la principal diferencia con la elaboración de planes de mantenimiento basados en las instrucciones del fabricante.

Paso 1: Lista de equipos significativos

Del inventario de equipos del sistema deben listarse aquellos con entidad suficiente como para tener tareas de mantenimiento asociadas. Es conveniente agrupar estos equipos por tipos, de manera que sepamos cuantos tipos de equipos significativos tenemos en el sistema que estemos analizando.

Paso 2: Listado de tareas genéricas para cada tipo de equipo

Para cada uno de los tipos de equipos, debemos preparar un conjunto de tareas genéricas que les serían de aplicación para preparar tareas genéricas de mantenimiento.

Paso 3: Aplicación de las tareas genéricas

Para cada elemento aplicaremos tareas genéricas preparadas en el punto anterior, de manera que obtendremos un listado de tareas referidas a cada equipo concreto.

Paso 4: Comprobación de las instrucciones de los fabricantes

Incluimos las recomendaciones de fabricantes, mirando que no se ha olvidado nada importante.

Paso 5: Añadir mantenimiento legal

Es necesario de nuevo asegurar el cumplimiento de las normas reglamentarias referentes a mantenimiento que puedan ser de aplicación en determinados equipos.

8.3.3 FORMA 3

Plan de mantenimiento basado en RCM, El RCM es una metodología para el desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el análisis de fallos de una instalación. De las tres metodologías propuestas, basar este plan de mantenimiento en un exhaustivo análisis de fallos es la que mejores resultados puede dar, ya que está orientado a evitar los fallos que puedan tener la instalación o equipo.

RCM o de la implantación de RCM es una metodología compleja, farragosa y de difícil aplicación pero para algunos expertos afirman que con pocos recursos pero con un buen conocimiento de la instalación y algo de tiempo se puede desarrollar esta metodología y beneficiarse de los excelentes resultados.

Entre los objetivos del RCM encontramos:

- *Mantener solo lo necesario y cuando es necesario, y no más.*
- *Minimizar el tiempo de cada intervención, y por tanto el total.*
- *Minimizar el coste de cada intervención, y por tanto el total.*

Este tipo de mantenimiento es el que se pretende utilizar, para ello, se orientará el sistema experto a simplificar la compleja metodología de cara a los operarios, y con ello facilitar su implantación.

Un claro ejemplo de utilización sería en buques militares de pequeño porte para los cuales el astillero ferrolano implanta más de 150 planes de mantenimiento y más de 1100 tarjetas de mantenimiento. En este tipo de buques, nuestro sistema experto lograría simplificar el gran medida dichos planes al controlarse de forma automática a tiempo real todos los factores necesarios y únicamente siendo necesario por parte de los operarios la revisión de aquellos cuya señal de alarma haya sido activada por el sistema.

8.4 Concepto de mantenimiento

El Concepto de Mantenimiento es una combinación de mantenimiento programado a tiempo fijo y mantenimiento basado en la condición, considerando:

- *Operador/Mantenedor. Mínimo número de personas dedicadas a mantenimiento.*
- *Reducir la intervención humana en el mantenimiento preventivo sin disminuir la calidad.*
- *El mantenimiento a bordo será minimizado al máximo.*
- *El mantenimiento preventivo se realizará mediante tareas programadas de inspección de la condición del material. No se realizará mantenimiento de rehabilitación progresivo ni se reemplazarán equipos antes del fallo, a menos que estadísticamente sea necesario.*
- *Rutas fijas previstas para transportes con medios de movimiento "in situ" para sistemas y equipos no reparables a bordo.*
- *Rápida accesibilidad a los puntos de mantenimiento y/o desmontaje de equipos.*

El sistema experto controlará dichos factores activando una alarma cuando sea preciso un mantenimiento preventivo. Otra posibilidad reside en la capacidad del sistema de autogestión, otorgándole al mismo la capacidad de reducir y optimizar tanto los recursos disponibles como el tiempo.

8.5 Niveles de mantenimiento

Los niveles o escalones de Mantenimiento serán fijados y definidos en nuestro caso de estudio en función del personal involucrado en el mantenimiento y el lugar donde se realice:

PRIMER NIVEL:

Conjunto de acciones de mantenimiento llevadas a cabo por el personal del buque. Se compone de todas las acciones, tanto correctivas como programadas, realizadas a bordo por la tripulación (operadores o mantenedores del equipo) con los medios técnicos disponibles a bordo. Incluyen todas las tareas de mantenimiento realizadas frecuentemente y que no requieren el apoyo de medios técnicos (humanos o materiales) de importancia.

Por lo ajustado de la Plantilla, pueden presentarse problemas por el exceso de trabajo, por lo que deberán considerarse las medidas tendentes a reducir la carga de trabajo en este nivel tales como la ya citada de utilizar técnicas de Mantenimiento por Síntomas, evaluación continuada de equipos de maquinaria, y descargar acciones de Mantenimiento del Primer Nivel de Mantenimiento en el Tercer Nivel.

SEGUNDO NIVEL:

Cubre las actividades de mantenimiento llevadas a cabo por parte del personal técnico de a bordo con la ayuda del personal de tierra de la compañía. Esta ayuda puede también incluir herramientas, equipos de apoyo y prueba o cualquier otro medio de la compañía o incluso de otros buques.

Para no aumentar la infraestructura, en principio, no es aconsejable la creación de un Segundo Nivel de Mantenimiento, siendo sus funciones serán absorbidas por el personal de tierra de la compañía.

TERCER NIVEL:

Agrupar todas las acciones de mantenimiento programado y correctivo, reacondicionamientos, modificaciones y modernizaciones que, debido a su complejidad o magnitud, han de ser realizadas en las instalaciones de tierra, pudiendo requerirse la asistencia técnica del fabricante del equipo. Este Nivel de Mantenimiento se establecerá en tierra. Deberá dotarse de personal y medios adecuados, y actualizar su organización en los aspectos necesarios. Este tercer nivel procurará realizar el mantenimiento hasta el mayor nivel posible dentro de la mejor relación eficacia/coste.

CUARTO NIVEL:

Se compone de aquellas acciones de mantenimiento que solo pueden realizarse bien por el fabricante del equipo o bien por su servicio técnico. Son todos aquellos trabajos que por su complejidad, coste, necesidad de instalaciones especiales, personal muy cualificado, requerimientos de calidad o simple oportunidad, se considere que no es rentable realizarlos por el personal propio de tierra.

Una vez explicados los diferentes niveles, queda claro que el sistema experto está destinado a facilitar y asegurar las labores del primer nivel de forma que se reduzcan los casos donde tras fracasas las labores de dicho nivel, se requieran labores de otros niveles. Es de vital importancia detectar con la mayor brevedad posible un posible fallo ya que de no hacerlo podríamos estar incurriendo en cuantiosas pérdidas tanto económicas como de tiempo. El sistema deberá actuar como respaldo de los operarios del buque, eliminando las tareas rutinarias por contar con revisiones en los casos donde se perciban anomalías, permitiéndoles centrar sus esfuerzos en otras labores.

8.6 Mantenimiento basado en la condición del equipo

Dicha metodología tiende a reducir el coste del mantenimiento y conservar a la vez la disponibilidad de los buques a su más alto nivel. Está basado en la Condición o estado del equipo y pone en práctica el concepto de planificación y mantenimiento continuo, es decir los mantenimientos se planificarán y ejecutarán cuando quiera que el buque y la instalación de mantenimiento se encuentren disponibles. Establece los mismos mantenimientos para idénticos equipos instalados en diferentes clases de buques, y sustituye la mayor parte de las tareas que se realizaban con periodicidad fija por tareas de inspección de los equipos. Lo que pretendemos es reducir costes, y con el fin de efectuar únicamente los mantenimientos que sean realmente necesarios, unificar mantenimiento para equipos idénticos y extender su aplicación a la mayoría de los buques de nuestra flota (si es que disponemos de ella). Se basa en 3 principios:

- *Mantenimiento Según Condición*
- *Planificación y Mantenimiento Continuo*
- *Unificación de mantenimientos para diferentes buques*

Con el fin de realizar el mantenimiento del buque a un coste razonable, todas las empresas tienen la necesidad de que las tareas de mantenimiento estén validadas por la evaluación de la condición del equipo, comúnmente denominadas Mantenimiento Según Condición (CBM).

Para determinar el funcionamiento y estado de los equipos y sistemas de a bordo se utilizan Procedimientos de Mantenimiento Según Condición, evaluaciones, inspecciones y pruebas, para proceder a programar aquellas acciones de mantenimiento que realmente son necesarias.

Un completo conocimiento del equipo y valoración del estado en relación a la mínima condición de aceptación es la base para tomar de decisiones por el Responsable de Mantenimiento. El estado del equipo es un término amplio que incluye parámetros estáticos como tamaño, forma y extensión de la degradación del material, que son comparados con los observados en mantenimientos anteriores sobre los mismos o similares equipos, y parámetros dinámicos como velocidad, temperatura, presión y características eléctricas. El mantenimiento según la condición CBM toma todos estos parámetros en consideración y se basa en pruebas objetivas de fallos actuales o previsibles de sistemas o equipos de a bordo.

Se utilizará el método RCM basado en el estudio de los diferentes Modos de Fallos para validar las tareas de mantenimiento deducidas del estado de los equipos, y se efectuará al mismo tiempo una revisión y evaluación de los mantenimientos de Primer Nivel incluidos en el Plan. Las tareas periódicas son mantenimientos e inspecciones efectuadas en intervalos definidos (por ejemplo las varadas). Las tareas según condición requieren pruebas, inspecciones, evaluaciones o diagnósticos para identificar las reparaciones que se precisen y en el momento preciso.

El Plan de mantenimiento incluye mantenimientos obligatorios que son acciones tales como inspecciones y pruebas indicadas por los manuales técnicos de los fabricantes. El Plan de mantenimiento se desarrolla a partir de la experiencia obtenida del historial de mantenimientos y reparaciones de buques anteriores o de sistemas y equipos similares.

También se utiliza información procedente del personal de Mantenimiento, Dotaciones del Buques, Oficinas Técnicas y Manuales Técnicos de Fabricantes. Ahora el mantenimiento está basado en el equipo.

Los tipos de tareas del Plan de Mantenimiento, se clasificarán según su acción en:

Tareas Obligatorias (M).

Su ejecución es requerida por Manuales Técnicos del fabricante de equipos o por Manuales de Mantenimiento del Armador.

Tareas de Inspección (I).

Evaluación periódica de los equipos, utilización de varios tipos y técnicas de inspección (Análisis de vibraciones, Análisis de aceite), Revisión y prueba de los Sistemas. Los resultados pueden dar origen a una Tarea de Reparación (Q)

Tareas de Reparación (Q).

Tareas basadas en la Condición del Equipo con varias opciones de reparación. A efectuar como resultado de una tarea de inspección (I).

Tareas Concurrentes (C).

Tareas a efectuar cuando un mantenimiento planificado es efectuado, y por causas económicas puede interesar que otro mantenimiento adicional se efectúe al mismo tiempo.

Tareas centradas en la Fiabilidad (P).

Validadas por el análisis RCM. Pueden ser de tres tipos: programadas, basadas en la condición o para reparar cuando falle el equipo (correctivas).

Queda claro que la efectividad de las labores de inspección asume un papel imprescindible. Es aquí donde se pretende que el sistema experto opere, dando la voz de alarma en los casos en que sean necesarias otras tareas.

Una vez esté el sistema implantado no será necesario llevar a cabo dichas tareas ya que el sistema debe ser capaz de detectar incluso un fallo en su propio programa o el fallo de sus sensores. Dicho esto, a la hora de realizar el caso de aplicación del sistema se ha programado diferenciando cada etapa del sistema junto a una marca única, permitiendo al operario en caso de fallo del sistema experto en qué fase se ha producido con una simple visual del cuadro de control sin necesidad de realizar ninguna labor de inspección.

El mantenimiento de equipos y sistemas de buques en servicio será revisado y modificado para incorporar los principios del RCM en áreas donde los resultados esperados deban ser proporcionales a los costes asociados. El RCM es tanto un proceso analítico aplicado al desarrollo de los mantenimientos preventivos necesarios, como una estrategia aplicable a la planificación del mantenimiento a bordo en general. El RCM analiza las funciones del sistema, modos de fallo, y los efectos de cada modo de fallo en la operatividad del buque. Una vez identificados estos modos de fallo, se produce una investigación de la estrategia óptima para minimizar la probabilidad del fallo y el impacto operativo.

En el RCM se efectúa un análisis de los fallos del sistema y equipo para determinar su importancia a nivel de sistema o subsistema. Este análisis puede revelar que no todos los fallos requieren una intervención correctiva inmediata. A las acciones de mantenimiento se les asigna factores de criticidad durante el proceso de análisis, redefiniendo el proceso de situar los recursos de apoyo. El resultado del RCM es conocer la estrategia de mantenimiento ideal.

Volviendo al sistema experto para el control del sistema contra incendios, se adjunta como ANEXO I el estudio de todos los modos de fallo del sistema junto a la solución óptima que debe utilizar el sistema experto cuando se detecte algún fallo ya sea en caso de caída de presión en un tramo o ramal o indisposición de un equipo de bombeo por motivos externos o por detección de deterioro y necesidad de labores de mantenimiento.

8.7 Inspecciones y pruebas

Con el sistema ya implementado en el buque, el astillero constructor o los encargados de realizar las labores de montaje realizarán una serie de pruebas para demostrar que el sistema ha alcanzado el grado de cumplimentación necesario para comenzar con las pruebas de aceptación. Estas pruebas pueden ser:

Pruebas en puerto

Realizadas para demostrar la cumplimentación y funcionamiento de toda la maquinaria, equipos y sistemas para el comienzo de las pruebas de mar. En este punto se comprobará que tanto el sistema experto como el sistema contraincendios funcionan según lo establecido.

Pruebas de mar

Realizadas después de las pruebas en puerto, se realizan para demostrar que el sistema es apto para navegar y que toda la maquinaria, equipos y sistemas están listo para pruebas de aceptación.

Las pruebas de aceptación consisten en una serie de pruebas e inspecciones de la condición del material para demostrar que el sistema está listo para entrar en funcionamiento. Estas pruebas se repetirán durante la fase operativa del buque a fin de conocer si existe algún punto débil que merme las características operativas del mismo. Durante este proyecto se ha llevado a cabo la realización de lo que podría ser una prueba de puerto donde se produce un fallo controlado a fin de revisar que el sistema experto opera según lo previsto.

8.8 Plan de mantenimiento del sistema contraincendios

Se describe en este apartado el plan de mantenimiento a seguir a fin de mantener la operatividad del sistema contraincendios del buque. Se define en la regla 14 del SOLAS – capítulo II – Parte E – prescripciones operacionales, los elementos que debe abarcar dicho plan en caso de haberlos. Se muestra dicha regla a continuación:

Regla 14

Disponibilidad operacional y mantenimiento

1 Finalidad

La finalidad de la presente regla es que se realice un mantenimiento y una supervisión de la eficacia de los medios de lucha contra incendios de que vaya provisto el buque. Para este fin, se cumplirán las siguientes prescripciones funcionales:

- *Los sistemas y medidas de prevención de incendios y de lucha contra incendios se mantendrán de modo que estén listos para su utilización; y*
- *Los sistemas y medidas de prevención de incendios y de lucha contra incendios se someterán debidamente a prueba y a inspección.*

2 Generalidades

Siempre que el buque esté en servicio se cumplirán las prescripciones del párrafo 1.1. Un buque está fuera de servicio cuando:

- *Está siendo reparado o desarmado (ya sea en el fondeadero o en el puerto) o en el dique seco;*
- *Está declarado fuera de servicio por el propietario o el representante de éste; y*
- *En el caso de un buque de pasaje, no hay pasajeros a bordo.*

2.1 Disponibilidad operacional

2.1.1 Los sistemas de protección contra incendios siguientes se mantendrán en buen estado a fin de garantizar su debido comportamiento si se produce un incendio:

- *Protección estructural contra incendios, incluidas las divisiones piroresistentes y protección de las aberturas y perforaciones en las divisiones.*
- *Sistemas de detección de incendios y de alarma contraincendios; y*
- *Sistemas y dispositivos para la evacuación.*

2.1.2 Los sistemas y dispositivos de extinción de incendios se mantendrán en buen estado de funcionamiento y listos para su uso inmediato. Los extintores portátiles que se hayan descargado se recargarán o se remplazarán por una unidad equivalente inmediatamente.

2.2 Mantenimiento, ensayo e inspecciones

2.2.1 El mantenimiento, el ensayo y las inspecciones se llevarán a cabo basándose en las Directrices elaboradas por la Organización () de manera que se tenga debidamente en cuenta la fiabilidad de los sistemas y dispositivos de lucha contra incendios.*

2.2.2 El plan de mantenimiento se mantendrá a bordo del buque y estará disponible para su inspección siempre que la Administración lo requiera.

2.2.3 El plan de mantenimiento abarcará como mínimo los sistemas de protección contra incendios y los sistemas y dispositivos de lucha contra incendios siguientes, de haberlos:

- *Colectores, bombas y bocas contraincendios, incluidas mangueras, lanzas y la conexión internacional a tierra;*
- *Sistemas fijos de detección de incendios y de alarma contraincendios;*
- *Sistemas fijos de extinción de incendios y otros dispositivos de extinción de incendios;*
- *Sistemas de rociadores, de detección de incendios y alarma contraincendios automáticos;*
- *Sistemas de ventilación, incluidas válvulas de mariposa contra incendios y humo, los ventiladores y sus mandos;*
- *Sistema de interrupción de emergencia del suministro de combustible;*
- *Puertas contraincendios, incluidos sus mandos;*
- *Sistemas de alarma general de emergencia;*
- *Aparatos respiratorios para la evacuación de emergencia;*
- *Extintores de incendio portátiles, incluidas las cargas de resaca; y*
- *Equipos de bombero.*

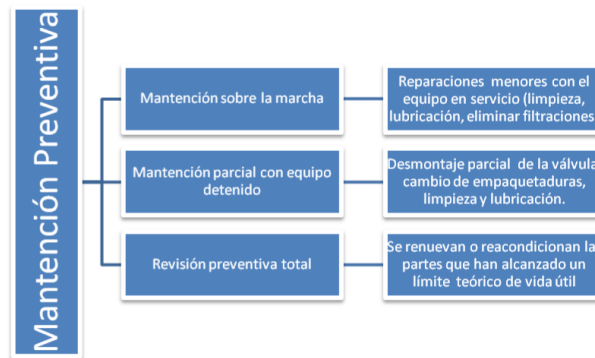
2.2.4 El programa de mantenimiento podrá figurar en una computadora

Teniendo en cuenta que este proyecto se centra en la implantación de un sistema de control en el sistema contra incendios, el plan de mantenimiento abarcará los elementos situados en los colectores y ramales principales.

Mantenimiento de válvulas:

Debido a que la implantación del sistema experto requiere del empleo en este caso de válvulas de mariposa motorizadas, se definen a continuación las diferentes tareas de mantenimiento que se llevarán a cabo en cada una de las válvulas motorizadas cuyo objetivo es minimizar el riesgo de colapso o indisposición de las mismas. En este caso dada la naturaleza mecánica de las válvulas y que no se dispone de lecturas que puedan indicar un mal funcionamiento de las mismas, se implantará en las válvulas un mantenimiento preventivo a fin de detectar el deterioro o la pérdida de propiedades antes del fallo. Para ello se define el plan de mantenimiento utilizando la **1ª FORMA**. Se detallan en primer lugar tres niveles de actividades según la operativa del buque utilizando las recomendaciones del proveedor, se analizan a posteriori las opiniones de los operarios a fin de ajustar con mayor precisión el intervalo de tiempo entre operaciones de mantenimiento.

Organigrama 3: Tipos de mantenimiento preventivo



Fuente: *mantenimientopetroquimica (2017)*

En mantenimiento preventivo en las válvula se realizará en un espacio temporal establecido en base a las recomendaciones de los técnicos, consiste principalmente en realizar operaciones de pequeño porte pudiendo estas realizarse con el buque en navegación salvo en aquellos casos en los que el equipo deba ser sustituido o reacondicionado, se incluyen en este grupo las acciones destinadas a la limpieza del equipo, lubricación, extracción de posibles filtraciones, diferentes revisiones por ejemplo de sellado o apriete de la tornillería.

Es imprescindible para garantizar el correcto funcionamiento de las válvulas abrir y cerrar las mismas utilizando una pequeña cantidad de lubricante/sellador fresco de forma que siempre se mantenga el nivel de lubricante en el tope. Esto se debe a que el lubricante es el encargado de mantener el sistema aislado. Además, se lubricarán todos los elementos sujetos a fuerzas de fricción a fin de minimizar la pérdida de torque como pernos, tornillos golillas y tuercas. Dicha grasa se emplea para lubricar superficies metálicas desprotegidas impidiendo que se rayen al mismo tiempo que ayuda a reducir los contaminantes acumulados sobre el fondo del cuerpo de la válvula como la corrosión. Se indican a continuación acciones a tener en cuenta en dicho mantenimiento:

- Eliminación de partículas de óxido, escorias, gotas de soldadura, polvo y suciedad
- Revisión del soportado en busca de desperfectos ocasionados por esfuerzos o fatiga de las conexiones.
- Reapriete de tuercas de la brida.
- Chequeo de la operación de la válvula, apertura y cierre total.
- Proceder a instalar en posición cerrada y en lo posible con el vástago en posición vertical.

En cuanto a la lubricación, se deberán lubricar:

- Bonete a nivel de la bocina guía
- Bonete a nivel del aro linterna.

Se llevará a cabo un plan de lubricación teniendo en cuenta la experiencia de los técnicos a la hora de establecer el espacio temporal:

- En cualquier caso se realizará una lubricación total al menos una vez por año.
- Escasa frecuencia de operación, cada tres meses
- Cada 1000 ciclos si la válvula se opera más de diez veces al día.

Reemplazo de la empaquetadura de la válvula:

De nuevo la experiencia de los técnicos se encargará de establecer el intervalo de tiempo llevar a cabo el reemplazo, para ello se deberá:

1. Mantener la válvula abierta o semiabierta.
2. Disipación de la posible presión interna que alberga la válvula.
3. Retirar los espárragos.
4. Retirar los espárragos encargados de la sujeción al cuerpo y al bonete.
5. Retirar el bonete y a la cuña.
6. Cambio de la empaquetadura.
7. Recolocar bonete junto con sus tuercas y sus los espárragos.

Dicha acción busca detener las posibles fugas y la consiguiente reducción de daños ocasionados a las estoperas y a la propia válvula. Las fugas en las válvulas suelen producirse indirectamente con el arranque de equipos en el mismo ramal o colector o bien tras un uso prolongado, las revisiones rutinarias tratarán de contemplar una posible fuga permitiendo solventar la incidencia de forma controlada.

Recomendaciones de los operarios a tener en cuenta:

- Uso de pernos de aleación superior, con elevado alto límite elástico
- Uso de golillas cónicas y no planas:
 - 1) Permite alargar el pernos con un pequeño ángulo, elongación mayor.
 - 2) Las golillas crean un efecto elástico que ayuda a disminuir la pérdida de resistencia en las empaquetaduras.

Procedimientos de limpieza:

- 1) Mojar el limpiador entre 30 - 60 minutos.
- 2) Dejar actuar el limpiador durante la noche en válvulas atascadas

- 3) Seguir el ciclo del equipo llenando de limpiador hasta el tope facilitando la eliminación de residuos en las superficies selladas.

Mantenimiento de los sensores

Respecto al mantenimiento a llevar a cabo sobre la sensorización, se implementará un plan correctivo, esto se debe al bajo coste de los equipos y a que no precisan de acciones de mantenimiento rutinarias.

Dicho plan no exime a los operarios de la necesidad de realizar revisiones a fin de asegurar una correcta operación.

Mantenimiento de los equipos de bombeo

Finalmente, en cuanto a los equipos de bombeo se adoptará un plan de mantenimiento según la condición del equipo. Esto se debe tanto a los altos costes en los que se podría incurrir o en la posible falta de suministro en el colector en caso de fallo de los equipos. Por otro lado, debido a que el sistema autónomo debe reaccionar ante el fallo de uno de los equipos de bombeo, estos son supervisados y monitorizados de forma continua por el autómeta, facilitando la implantación de dicho tipo de mantenimiento.

Se describen a continuación diferentes acciones que se deben llevar a cabo a fin de conocer el estado del equipo y disminuir las probabilidades de fallo. Será la experiencia de los técnicos la encargada de dictar la frecuencia de las revisiones y las labores de mantenimiento.

Mantenimiento rutinario de los equipos de bombeo:

- Lubricación de los cojinetes. Siempre se deberá observar tanto el nivel como el estado del aceite, reemplazando este según convenga. De igual modo se deberá revisar de forma rutinaria la grasa de los cojines que la utilicen como lubricante.
- Pernos de sujeción. Los pernos de sujeción de la bomba no necesitan ser revisados con frecuencia, aunque una verificación oportuna del ajuste puede prevenir la necesidad de darle mantenimiento a la bomba como resultado de una vibración innecesaria.
- Revisión de piezas y reemplazo/restauración de las mismas en caso de ser necesario.
- Revisión interna:

Limpeza e inspección de la caja en busca de obstrucciones en las líneas de del impulsor y los sellos.

Revisión tanto del impulsor como del anillo en busca de indicios de desgaste, erosión, rebabas o posibles rayones. Dichos indicios indican un desequilibrio del equipo que de no ser tratado podría ocasionar serios daños.

Revisión tanto de manguitos como del eje en busca de indicios de desgaste o algún posible daño. Se ajustará el eje en torno a 0.001".

En cuanto a la monitorización, se controlará tanto el consumo de energía como las vibraciones del equipo. Será el propio autómata el encargado de dar la voz de alarma ante valores anormales y actuar consecuentemente. Dicha metodología se describe en el apartado "8.3". Dicho esto, se simplifica dichas comprobaciones debiendo los operarios observar el cuadro de control en busca de una posible alarma activada. En caso de confirmarse un fallo en el equipo de bombeo, se deberá revisar la alineación de la bomba junto con los cojinetes y demás elementos.

Recomendaciones de los operarios a tener en cuenta:

- Evitar manipular el equipo en sitios no preparados para tal fin. Esto se debe a que la exposición al polvo u otros elementos contaminantes acarrearán daños prematuros.
- Se evitará abrir una bomba sin necesidad debido a que un mantenimiento excesivo aumenta las posibilidades de dar pie a un fallo o desajuste.
- Reemplazar/restaurar elementos con signos de daño o deterioro con la mayor brevedad posible, y anotar el tiempo de operación a fin de ajustar tiempos entre revisiones.

Metodología

En cuanto a la metodología, las diferentes revisiones que se deben llevar a cabo, se realizarán conjuntamente con la simulación del autómata, permitiendo manipular de forma manual o mediante el software cada una de las válvulas. Se realizarán las revisiones partiendo de la válvula más a popa y en la cubierta más baja, avanzando hacia proa y hacia las cubiertas superiores, durante el análisis el operario, bien mediante el HMI conectado a la red o bien conjuntamente con otro operario que controle el software, revisará la totalidad de labores partiendo de la válvula VB10 y finalizará en la válvula VC11.

9 ARQUITECTURA DEL PROGRAMA

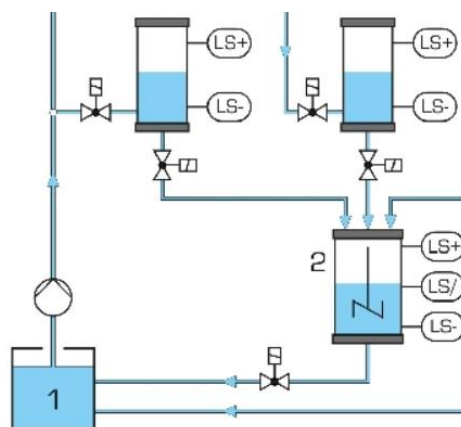
Antes de proceder a explicar las diferentes fases del caso de aplicación, se explicarán las diferentes fases del procedimiento de diseño del sistema experto. A la hora de realizar un estudio para lograr una automatización y diseñar un programa mediante un autómatas programable se deben abordar diferentes puntos.

- *Subdividir el proceso en tareas individuales más simples.*
- *Describir las diferentes tareas y áreas.*
- *Determinar los requerimientos de seguridad necesarios.*
- *Describir los elementos de visualización, necesarios para el manejo y control.*
- *Finalmente crear un plan de configuración.*

9.1 Subdivisión del proceso:

El proceso de automatización consta de tareas individuales que juntas forman un sistema. Todos los procesos pueden ser definidos en caso de tener determinadas las áreas que se deben abarcar dentro de un proceso. Un ejemplo podría ser un sistema de mezclado de componentes para la lucha contraincendios en un buque. El primer paso busca dejar definido el proceso y sus componentes, de forma que quede claro que áreas son las que se deben abarcar mediante la actuación sobre las tareas, en nuestro ejemplo podríamos encontrarnos cuatro áreas, atendiendo una primera al ramal de agua salada (2), una segunda área al ramal mediante el cual se incorporan diferentes agentes para la lucha contraincendios, una tercera área que abarcaría la mezcla de ambo, y finalmente una última centrada en la salida de la mezcla.

Imagen 5 : Proceso de mezclado



Fuente: Gunt (2017)

El siguiente paso busca definir los elementos que se incluyen dentro de cada área, siguiendo el ejemplo anterior podríamos encontrar diferentes bombas, válvulas, motores agitadores y diferentes sensores.

9.2 Describir las diferentes tareas y áreas

Al definir las áreas y tareas del proceso, se debe definir tanto el funcionamiento de cada área y el funcionamiento de los diferentes elementos que controlan cada área, entre estos encontramos dos grupos diferenciados:

- *Entradas y salidas eléctricas, mecánicas y lógicas para cada área*
- *Enclavamientos y dependencias entre las diferentes tareas*

El sistema contraincendios a automatizar manipula principalmente equipos de bombeo, válvulas y sensores de presión a fin de determinar la caída de las mismas. Por lo que este apartado busca definir las características de dichos equipos, su modo de control y régimen de funcionamiento.

9.3 Determinación de los requerimientos de seguridad

Dicho paso es uno de los puntos más importantes ya que busca el diseñar conforme las prescripciones legales y directrices de proceso un sistema seguro. En nuestro caso, tratándose de un buque de índole militar se debe prestar especial atención a los diferentes reglamentos tanto de las sociedades de clasificación, solas o de los puertos a los cuales estará sujeta la ruta del buque ya que el no cumplimiento de las mismas puede ocasionar costosas pérdidas económicas a la persona o entidad que en ese momento esté fletando el buque o ligado al mismo. Se ha de describir en qué medida influyen los elementos de seguridad sobre el proceso siendo un claro ejemplo un simple paro de emergencia del equipo de bombeo que frenaría por completo un área determinado.

Se deben determinar los equipos que por razones de seguridad requieren de circuitos fijamente cableados. Por definición, estos circuitos de seguridad deben de ser independientes del sistema de automatización. Tal y como se describirá más adelante, durante la etapa de programación del autómeta se define un sistema de paro que entraría en funcionamiento controlado por el propio autómeta. Los enclavamientos propios que poseen los equipos de bombeo se conocen como setas de emergencia.

Imagen 6: Seta de emergencia



Fuente: Directindustry (2017)

Durante el diseño de los dispositivos de seguridad se deben seguir los diferentes puntos:

- *Definir enclavamientos tanto lógicos como mecánicos/lógicos entre las diferentes áreas.*
- *Diseño de circuitos que permiten el manejo manual de los diferentes equipos instalados.*
- *Determinación de otros requisitos de seguridad para garantizar un proceso seguro.*

Debido a que este proyecto se centra en aumentar la redundancia del sistema contraincendios este apartado cobra doble importancia ya que el objetivo principal es aumentar la seguridad de un buque militar y concretamente en un sistema que debe estar operativo en caso de avería. Siguiendo dichas directrices, nuestro sistema experto debe contener:

- Interruptores de paro de emergencia independientes del autómatas para cada equipo
 - Equipos de bombeo
 - Válvulas
 - Consumidores del sistema
- Interruptor de paro de emergencia situado en el panel de control
- Sistema de paro controlado mediante una entrada del autómatas.

9.4 Elementos de visualización y elementos de manejo y control

Cada sistema precisa de un sistema de control y de visualización que permite a sus operarios intervenir en caso de ser necesario. Dicho apartado será controlado en nuestra simulación en laboratorio mediante una CPU y mediante una unidad de control denominada HMI, en ambos casos tanto el control como la visualización se realizará utilizando la misma interfaz gráfica.

Imagen 7: Sistemas autómatas Siemens



Fuente: is2.ecplaza (2017)

9.5 Creación de un plan de configuración

Con los requerimientos de diseño ya documentados, se deben determinar los equipos de control requeridos para el proceso. A la hora de definir los módulos a utilizar, se define la estructura del sistema de automatización. Los puntos a considerar son:

- *Tipo de CPU*
- *Cantidad y tipo de los módulos de señales*
- *Configuración de entradas y salidas físicas*

En nuestro caso, debido a la limitación que ofrece el laboratorio donde se realizará la simulación del sistema, se simularán todas las salidas mediante un cuadro de luces de forma que al activarse la marca correspondiente podamos conocer si el sistema experto está operando de forma correcta. Por otro lado, las entradas se realizarán mediante dos sensores de presencia que se encargarán de simular la pérdida de presión en un tramo del sistema, activando está el modo de avería para el fallo en cuestión, y por otro lado el rearme del sistema que devolverá al mismo al estado inicial una vez se haya reparado la avería y pulsado el botón de C.M, evitando de esta forma que es sistema opere por cuenta propia y coja a los operarios por sorpresa.

9.6 Caso de aplicación

Durante este proyecto se ha llevado a cabo la realización de un caso de aplicación del modo un fallo a fin de demostrar una simulación de lo que podría ser una prueba de puerto donde se produce un fallo controlado a fin de revisar que el sistema experto opera según lo previsto. Debido a la limitación del laboratorio se simulará mediante marcas las siguientes opciones:

- *Selección del modo de navegación y modificación de las válvulas según la selección.*
- *Detección automática del modo de fallo.*
- *Actuación sobre las válvulas.*
- *Conexión y desconexión segura de los equipos de bombeo según preceda.*
- *Actuación en el modo de avería.*
- *Rearme del sistema tras las labores de mantenimiento o reparaciones pertinentes.*

Se ha seleccionado el modo de fallo 5 debido a que representa la situación más desfavorable donde se debe actuar sobre las válvulas junto con la conexión de los equipos de bombeo.

10 ANALISIS DE MODOS DE FALLO

Se describe en el siguiente apartado la metodología a seguir a fin de identificar una avería. A la hora de programar el sistema experto, debemos conocer que valores podemos considerar como óptimos, a que rango de valores se deben atribuir cierto nivel de alarma y que rango de valores deben ser tratados por el sistema como avería.

En este primer apartado se realiza un estudio previo sobre el tramo 5 debido a que por su complejidad se ha seleccionado para la creación de un caso de aplicación para ello nos ayudaremos del software "Watercad" a fin de conocer los rangos normales o anormales de presión.

10.1 Análisis previo del sistema

Dado que el sistema experto se instalará en un sistema ya operativo, no se entrará al estudio del dimensionamiento, sino que se utilizarán los datos reales del sistema.

10.1.1 Equipos de bombeo

El caudal requerido por el sistema de C.I., para uso propio del buque, de acuerdo con el documento de la referencia 3 es:

$$QC = QL + QS + QF + QE$$

Donde:

QC es el caudal que se requiere para el sistema de C.I.

QL es la demanda máxima.

QS es la demanda de los servicios vitales conectados al sistema.

QF es la demanda de los servicios de limpieza.

QE es la demanda de los servicios con alimentación en emergencia desde C.I., definida como el mayor de los siguientes valores:

- 10 % del caudal total.
- Mayor caudal individual.

Finalmente el caudal requerido por el sistema de C.I., para uso propio del buque, es:

$$QC = QL + QS + QF + QE \quad QC = 270 + 16 + 0 + 300 \quad QC = 586 \text{ m}^3/\text{h}$$

El buque dispone de cuatro bombas de 200m³/h y 12 Bar. Además, las bombas de C. I. deben tener la capacidad suficiente para suministrar el caudal máximo requerido por el sistema de C.I. del buque con una bomba fuera de servicio. El caudal máximo en esta condición es de 600 m³/h. Además el anillo de C.I. estará constantemente presurizado, siendo suficiente el funcionamiento de una bomba para mantener la presión de 7 kg/cm² (6,87 bar) en el punto más alto del circuito.

Para la condición de auxilio exterior con monitores de C. I., el sistema podrá suministrar con las cuatro bombas en funcionamiento, aproximadamente 800 m³/h a una presión de aproximadamente 9,5 bar a la entrada de los monitores. La presión de descarga de las bombas de C. I se establece de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$H_m = P_d + 0,1 \times D_1 + F$$

Donde:

H_m = Presión (bar) mínima a la descarga de las bombas de C.I.

P_d = Presión (bar) requerida en la de descarga. 0,1

D₁ = Distancia vertical (m) desde la línea de flotación en rosca (4,1m) y el punto de conexión (descarga) más alto.

F = Pérdidas de carga entre la descarga de la bomba y el punto más alto del circuito. Se estiman unas pérdidas de carga de 1,0 bar en base a la experiencia en buques anteriores.

Condición más desfavorable:

Auxilio exterior con monitor a 9,5 bar de descarga:

$$H_m = 9,5 + 0,1 \times (19,1 - 4,1) + 1,0 = \mathbf{12,0 \text{ bar.}}$$

10.1.2 Colector

En cuanto al diámetro del anillo del colector contraincendios, ha de establecerse la condición ZEBRA, ya que es en la que se produce el mayor número de segregaciones en el sistema de C.I. Establecida la capacidad total del sistema de contraincendios del buque en el apartado anterior, con un número total de bombas 4, con una capacidad individual de 200 m³/h a 12 bar, el 75% de la capacidad total requerida queda establecida en 600 m³/h (3 bombas + 1 de respecto).

$$\text{Diámetro mínimo} = 177.3 \text{ mm}$$

Para el auxilio exterior, con las cuatro bombas en funcionamiento (800m³/h):

$$\text{Diámetro mínimo} = \mathbf{210.3 \text{ mm}}$$

En cuanto al material del conector, dato necesario para realizar el cálculo mediante el software antes citado, se exporta directamente de la lista de materiales del sistema contraincendios del buque en cuestión. Se muestra a continuación una imagen donde se puede apreciar dicho material, material muy utilizado en buques similares. El material será entonces el denominado CUNI (Cuproníquel).

Imagen 8: Lista de materiales de referencia

LINEA	TIPO DE ACOPIO	REV/CANT.	CONT.	UNID.	DESCRIPCION	NORMA DIM.
	MATER/EQUI/PLANO	(SPEC/CANT.	PROD.			TAMANO NOMINAL
			PESO)			
10001	W	A	3178,500	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145102		S21	450,000	ML		219 X 3,5
			3178,500	KG		200 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	
10002	W	A	1971,000	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145123		S21	150,000	ML		159 X 3
			1971,000	KG		150 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	
10003	W	A	488,000	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145114		S21	40,000	ML		133 X 3
			488,000	KG		125 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	
10004	W	A	553,950	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145140		S21	75,000	ML		108 X 2,5
			553,950	KG		100 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	
10005	W	A	485,600	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145105		S21	80,000	ML		89 X 2,5
			485,600	KG		80 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	
10006	W	A	207,500	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145142		S21	50,000	ML		76 X 2
			207,500	KG		65 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	
10007	W	A	174,750	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145124		S21	75,000	ML		57 X 1,5
			174,750	KG		50 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	
10008	W	A	271,500	KG	TUBO DE CUPRO-NIQUEL ESTIRADO SIN SOLDADURA. (CUNIL00FE1MM).	DIN-86019
13145149		S21	150,000	ML		44,5 X 1,5
			271,500	KG		40 MM
	OBSERVACIONES:				CERTIFICADO UNE-EN 10204:2006 TIPO 3.1 DE MATERIALES, INSPECCIÓN PRODUCTO Y PRUEBAS HIDRÁULICAS DE ACUERDO CON NORMA/ESTÁNDAR.	

Fuente: 5212000010MREVBNECE (S.F.)

Finalmente, como resumen de los valores citados, el sistema de C.I. estará formado por un anillo vertical, húmedo y presurizado de 8" (219,1x3,5) al que descargarán las 4 bombas de velocidad regulable (200 m3/h a 12 bar, cada unidad). Dispondrá de 2 monitores de C.I. con una capacidad total para auxilio exterior de 800 m3/h a 9,5 bar, considerando que la capacidad individual más adecuada es de 400m3/h a 9,5 bar, de acuerdo a la capacidad y operatividad del buque.

El sistema de C.I. para servicio del propio buque, suministrará el caudal necesario, manteniendo una presión de 6,87 bar en el boquil más alto, con un máximo de tres bombas en funcionamiento, regulando la velocidad y el número de bombas en funcionamiento. El sistema mantendrá, en toda condición un mínimo, de una bomba en funcionamiento, para garantizar el suministro a los consumidores dependientes QS (16 m3/h) y mantener la presión.

El caudal máximo requerido determinado por QC (586 m³/h), se encuentra dentro del rango de capacidad de suministro de tres bombas.

El sistema de C.I., para auxilio exterior utilizará las cuatro bombas descargando a 12 bares, manteniendo la demanda interna de los servicios continuos QS (16 m³/h), y con capacidad para suministrar un máximo de aproximadamente 800 m³/h a 9,5 bar para servicio de los 2 monitores de C.I. (400m³/h, unidad) para auxilio exterior, que podrán operar de forma conjunta o individual. Cada uno de los dos colectores horizontales longitudinales que conforman el anillo de C.I. tiene capacidad, para en condición de avería y con una velocidad inferior a 6,4 m/s, suministrar el caudal total requerido por el sistema de C.I.

10.2 Fallo en un tramo del sistema

10.2.1 Detección de anomalías

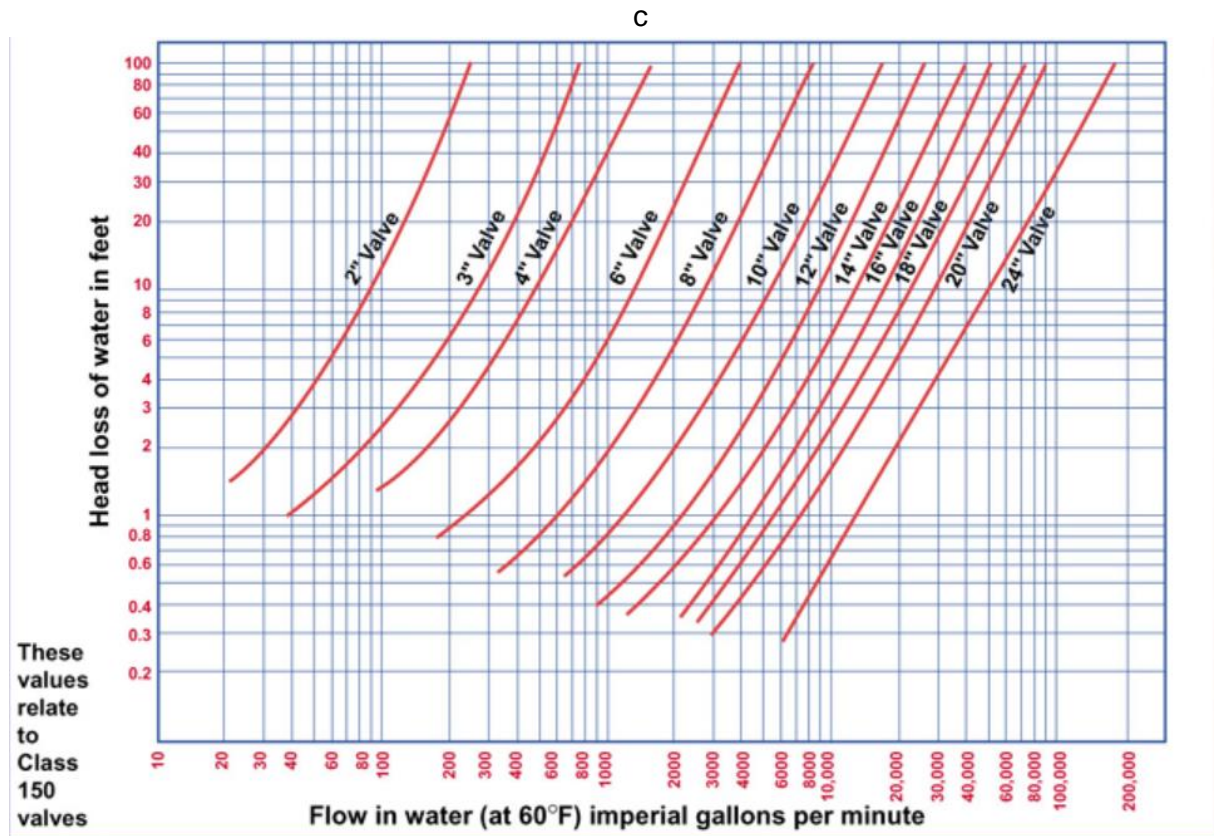
Mediante el software "WaterCad" se explicará la metodología a seguir a la hora se obtener los valores de presión que se considerarán normales por el sistema según la condición de navegación seleccionada por el buque, de forma que partiendo de dichos valores se logren estimar las anomalías.

Una vez obtenido el rango de valores normal, se estimará un segundo y un tercer rango dependiendo de si el sistema debe activar una alarma de precaución para que los operarios supervisen o realicen mantenimientos o una señal luminosa y sonora indicando una situación de avería al mismo tiempo que el sistema aísla dicho tramo recirculando el flujo según convenga.

En cuanto al cálculo, el primer lugar se estimará las dimensiones de cada tramo en metros. Se estimarán mediante interpolación de las medidas totales del buque de referencia junto con las obtenidas tras medir en el plano de disposición antes citado. Dado que se analizará tanto la condición ZEBRA como la condición de navegación, deberemos dimensionar el colector inferior ya que interactúa con el modo de fallo 5.

Una vez modelado y validado el sistema, el software analiza tramo a tramo las condiciones operativas, permitiendo conocer con un simple clic las presiones del punto inicial y el punto final del tramo. Se muestra a continuación los resultados obtenidos para ambas condiciones de operación.

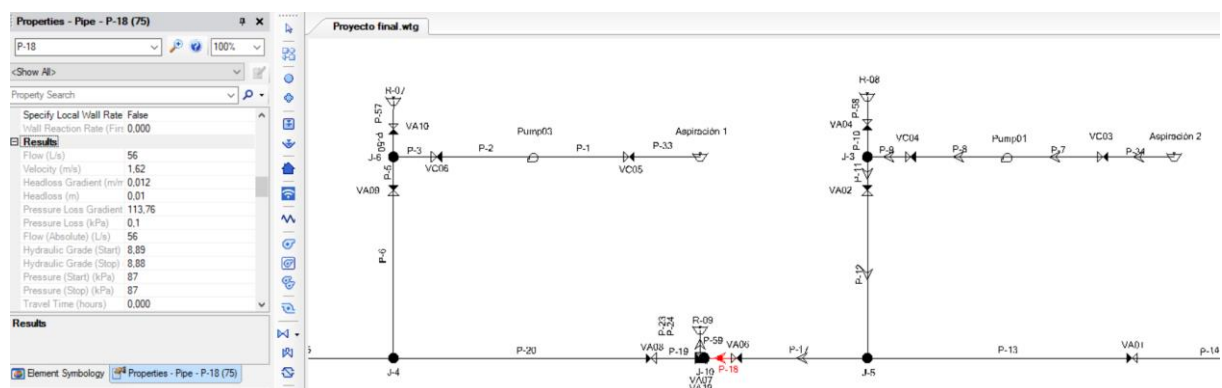
Imagen 9 : Pressure Loss Through Valves



Fuente: Sure flow equipment

Condición ZEBRA

Imagen 10 : Estudio de la condición ZEBRA



Fuente: Elaboración propia en base al modelo introducido en el programa "WaterCad"

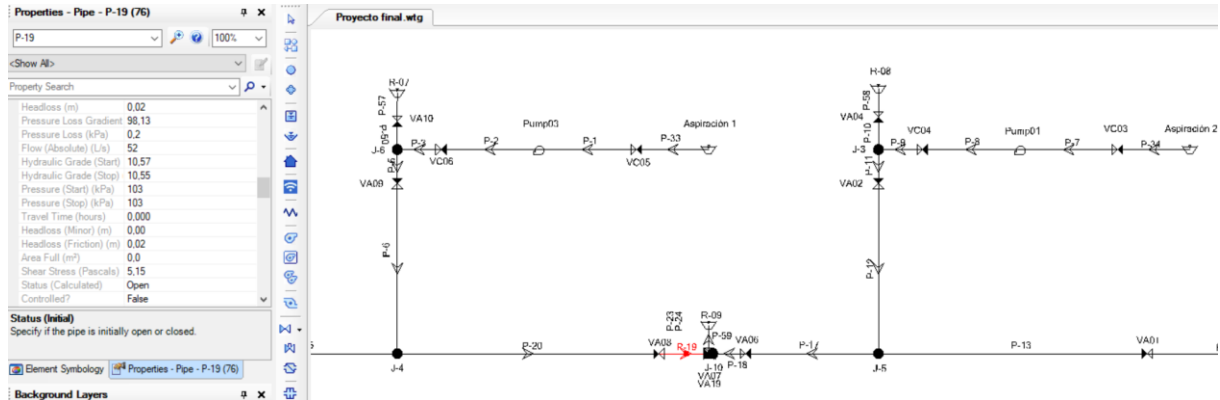
Presión normal en el tramo 5 = 8,89 bar

Presión a la que = Presión a la que se activará la alarma - 5% = 8,46 bar

Presión a la que el sistema entra en funcionamiento = Presión normal - 10% = 8,08 bar

Condición de navegación

Imagen 11 : Estudio de la condición de navegación



Fuente: Elaboración propia en base al modelo introducido en el programa "WaterCad"

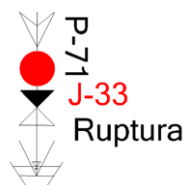
Presión normal en el tramo 5 = 10,57 bar

Presión a la que se activará la alarma= Presión de normal - 5% = 10 bar

Presión a la que el sistema entra en funcionamiento = Presión normal - 10% = 9,6 bar

Finalmente, se muestra el análisis realizado tras la ruptura en ambos modos de navegación de un ramal secundario conectado al tramo 5 del colector bajo. Dicho análisis permitirá reconocer la caída de presión esperada ante dicha avería basándose en las diferencias de presión producidas. En cuanto al modelo, se simula mediante un ramal de 30 mm (suministro a rociadores) conectado mediante una válvula al exterior y una secuencia de 2 minutos en la que se ha determinado el comportamiento de la válvula. Para ello se determina el grado de ruptura mediante la abertura de la válvula junto al tiempo y un caudal, en este caso el máximo establecido por ser la diferencia de presión más alta.

Imagen 12 : Metodología para simular la ruptura de un ramal secundario



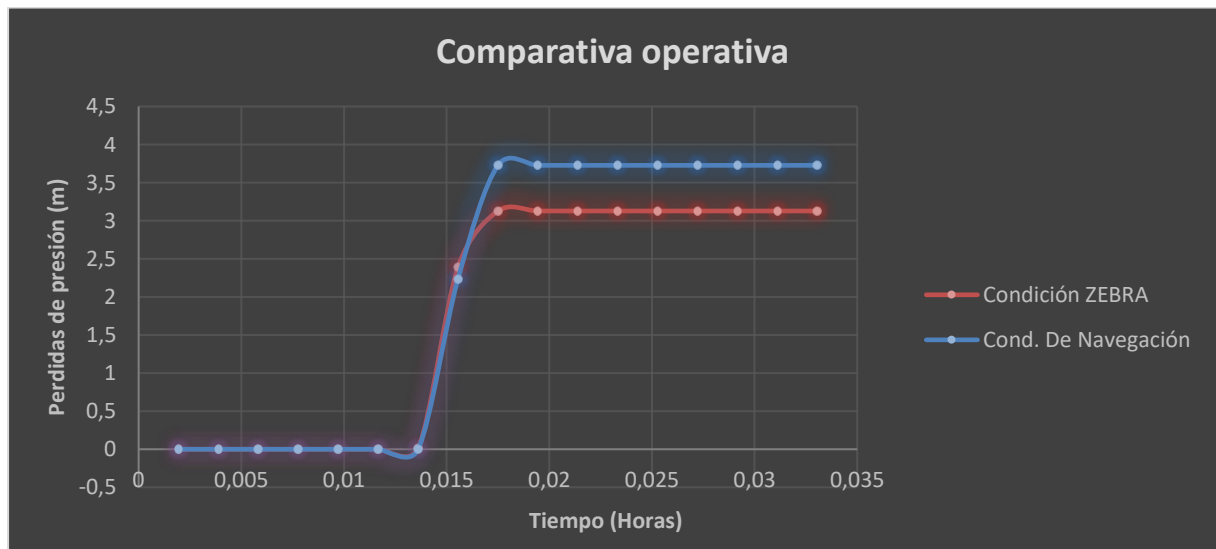
Fuente: Elaboración propia en base al modelo introducido en el programa "WaterCad"

Tabla 3: Resultados ante una ruptura del ramal secundario según a la condición operativa

	Condición ZEBRA	Condición de Navegación
Tiempo (horas)	Caída de presión (m)	Caída de presión (m)
0,00194444	0	0
0,00388889	0	0
0,00583333	0	0
0,00777778	0	0
0,00972222	0	0
0,01166667	0	0
0,01361111	0,01190176	0
0,01555556	2,39177731	2,23705134
0,0175	3,12784177	3,72718253
0,01944444	3,12795905	3,72721025
0,02138889	3,12795905	3,72721025
0,02333333	3,12795905	3,72721025
0,02527778	3,12795905	3,72721025
0,02722222	3,12795905	3,72721025
0,02916667	3,12795905	3,72721025
0,03111111	3,12795905	3,72721025
0,03305556	3,12795905	3,72721025

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos mediante "WaterCad"

Gráfica 1 : Resultados ante una ruptura del ramal secundario según a la condición operativa



Fuente: Elaboración propia en base a los resultados obtenidos mediante "WaterCad"

10.2.2 Modo de actuación

Cada vez que se detecte según el apartado anterior, valores de presión anómalos, se actuará consecuentemente dependiendo del rango de valores de presión en que nos encontremos. En el apartado anterior se define tres tipos de rangos, en este caso para el tramo 5.

Rango de valores normales:

Sin acciones

Rango de valores de alarma:

En este caso se programará la activación de una alarma visual y sonora al mismo tiempo que se realiza una segunda lectura temporizada a fin de descartar un posible fallo de lectura en el sensor.

Rango de valores de avería:

- A. Es en este rango donde el sistema experto cobra mayor importancia, en primer lugar, el sistema experto deberá aislar el tramo afectado actuando sobre el conjunto de válvulas asociadas a dicho tramo, con esto se logra evitar el embarque incontrolado de fluido dentro del buque, y con esto los posibles daños que pueda originar en caso de contactar con equipos eléctricos. Por otro lado, se detiene un incremento de pesos que en gran cantidad sí podrían suponer un peligro directo para la estabilidad del buque, y finalmente evitaríamos el mal funcionamiento del sistema o posibles daños al personal.
- B. Una vez aislado el sistema, el siguiente paso busca la actuación sobre el conjunto de válvulas asociadas a dicho tramo como válvulas de redireccionamiento, permitiendo que una vez conectados los equipos de bombeo alternativos estos logren suministrar de igual modo el caudal necesario a los consumidores afectados.
- C. A continuación, se producirá la conexión segura de dichos equipos de bombeo. Dicha conexión se define más adelante.
- D. Por último, una vez subsanada la incidencia o realizadas las labores de mantenimiento los operarios deberán pulsar el pulsador de "REARME" tanto en la CPU como en el propio pulsador mecánico. Dicho pulsador devuelve el sistema sus condiciones de operación iniciales, realizando los pasos citados de forma inversa.

10.3 Fallo de los equipos de bombeo

10.3.1 Detección de anomalías

En cuanto a los equipos de bombeo el sistema deberá ser capaz de interpretar un mal funcionamiento de forma que permita realizar una desconexión segura del equipo. De esta forma el sistema posibilita y simplifica el mantenimiento basado en la condición del equipo citado con anterioridad.

El sistema analizará el equipo comparándolo con las curvas de funcionamiento ofrecidas por el proveedor. Para ello se precisará la curva que compara la presión entregada por la bomba frente al consumo eléctrico y por otro lado el rango de vibraciones producidas por el equipo en condiciones óptimas de trabajo. Partiendo de dichos valores se establece un margen del 5% por encima y por debajo de dicho valor, se atribuirá al rango de valores comprendido entre el 5 % y el 10% del valor óptimo la condición de alerta ante la cual los operarios deben llevar a cabo un mantenimiento o en caso de ser inviable, programar el reemplazo del equipo. Una vez sobrepasado dicho margen del 10 % el sistema deberá entrar en modo de avería y operar en consecuencia.

- Monitorización de consumo eléctrico - presión

Los equipos de bombeo son estrictamente monitorizados desde la unidad de control de cada equipo lo que permite simplificar la lectura del consumo instantáneo y con esto conocer el estado del mismo. Esto se debe a que un incremento del desgaste del sistema produce mayores fuerzas de rozamiento y con estas un incremento de la potencia necesaria para otorgar un mismo caudal.

El sistema experto comparará el consumo eléctrico de los equipos de bombeo según la gráfica de consumos ofrecida por el fabricante junto a las lecturas de presión de los sensores situados aguas arriba de los equipos. . A fin de eliminar puntos atópicos, ante una lectura fuera del rango de valores normales, se repetirá la lectura dos veces más de forma espaciada en el tiempo con una duración mayor a 2 horas. Dichas lecturas se realizarán una vez se encuentre el equipo conectado a la red de suministro y este haya sido estabilizado, eliminando el efecto de la fuerza de rozamiento estática producida durante el arranque de los equipos.

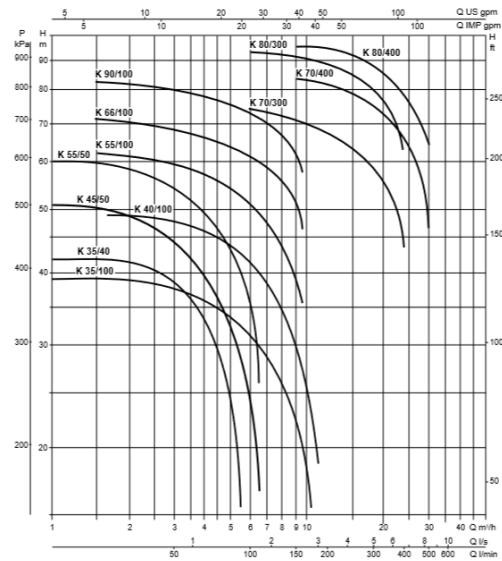
En las siguientes imágenes se muestran las curvas citadas procedentes de dos proveedores distintos. En el primer caso se muestra un equipo de bombeo similar a los utilizados en el sistema contra incendios, capaz de entregar una presión máxima de 12 bar y un caudal de 200 m³ /h con un rango de consumo eléctrico entre 9,2 Kw y 10,7 Kw (K 70/400).

Imagen 13: Ficha operativa de los equipos de bombeo

DATOS TÉCNICOS

MODELO	DATOS ELÉCTRICOS						
	TENSIÓN 50 Hz	P1 MAX KW	P2 NOMINAL KW HP		En A	CONDENSADOR µF Vc	
K 35/40 M	1x220-240 V-	1,2	0,75	1	5,5	20	450
K 35/40 T	3x230-400 V-	1,2	0,75	1	3,8-2,2	-	-
K 45/50 M	1x220-240 V-	1,86	1,1	1,5	8,3	31,5	450
K 45/50 T	3x230-400 V-	1,96	1,1	1,5	6-3,5	-	-
K 55/50 M	1x220-240 V-	2,7	1,85	2,7	12,8	40	450
K 55/50 T	3x230-400 V-	2,5	1,85	2,5	8,4-4,8	-	-
K 35/100 M	1x220-240 V-	1,56	1,1	1,5	7,1	25	450
K 35/100 T	3x230-400 V-	1,56	1,1	1,5	5,36-3,1	-	-
K 40/100 M	1x220-240 V-	2	1,85	2,5	9	40	450
K 40/100 T	3x230-400 V-	2	1,85	2,5	6,2-3,6	-	-
K 55/100 T	3x230-400 V-	3,9	2,2	3	11,6-6,7	-	-
K 66/100 T	3x230-400 V-	4,7	3	4	14,6-8,4	-	-
K 90/100 T	3x230-400 V-	5,4	4	5,5	16,5-9,5	-	-
K 70/300 T	3x400 V - Δ*	7,1	5,5	7,5	12,9	-	-
K 80/300 T	3x400 V - Δ*	9,9	7,5	10	15	-	-
K 70/400 T	3x400 V - Δ*	10,7	9,2	12,5	18	-	-
K 80/400 T	3x400 V - Δ*	12,5	11	15	21	-	-

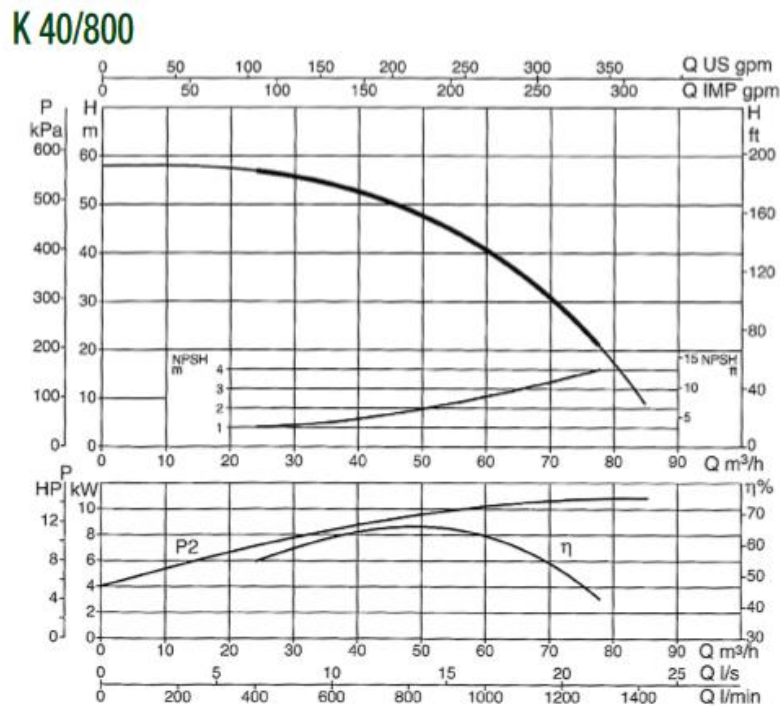
* Posibilidad de arranque estrella (Δ)



Fuente: Dabpumps

En la siguiente imagen se muestra otro caso donde se describe la evolución del consumo eléctrico del equipo conforma varia la presión y el caudal a bombear a fin de mostrar la metodología empleada para establecer los diferentes rangos de trabajo.

Imagen 14: Curva de trabajo en base al consumo eléctrico



Fuente: Bombasa

La metodología busca comparar cualquier valor obtenido mediante la lectura de presión frente al consumo eléctrico. Para ello se debe parametrizar la curva en función de la presión y el consumo, de esta forma el PLC sustituirá el valor de la presión y comparará el resultado obtenido (consumo teórico) frente al consumo real.

Rango de valores normales	= consumo teórico
Rango de valores de alerta	= consumo teórico + / - [0% - 10%]
Rango de valores de avería	= consumo teórico + / - [10% - 100%]

Se parametriza la curva de consumos tomando tres puntos iniciales:

$$\mathbf{P1 (0 , 4) \quad P2 (40 , 9) \quad P3 (80 , 11)}$$

$$\mathbf{Ecuación general: \quad y = (A * (X ^ 2)) + (B * X) + c}$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad & 4 = 0 + 0 + C \\ \text{b)} \quad & 9 = 1.600 * A + 40 * B + C \\ \text{c)} \quad & 11 = 6.400 * A + 80 * B + C \end{aligned}$$

$$C = 4$$

$$5 = 1.600 * A + 40 * B$$

$$7 = 6.400 * A + 80 * B$$

Donde:

$$C = 4$$

$$0.125 = 40 * A + B$$

$$0.0875 = 80 * A + B$$

Resolviendo:

$$\mathbf{A = 0.0011 \quad B = 0.081 \quad C = 4}$$

$$\mathbf{Ecuación general del consumo eléctrico: \quad y = (0.0011 * (X ^ 2)) + (0.081 * X) + 4}$$

Incluimos ahora el factor perteneciente a los rangos antes citados:

Rango de valores normales = [(Y * 0.9) ; (Y * 1.1)]

Rango de valores de alerta = [(Y * 0.8) ; (Y * 0.9)] U [(Y * 1.1) ; (Y * 1.2)]

Rango de valores normales = [0 ; (Y * 0.8)] U [(Y * 1.2) ; ∞]

Finalmente con dichos rangos, el PLC sustituirá el valor de X de la ecuación por el valor de presión leído y posteriormente comprobará en que rango se encuentra el valor del consumo eléctrico del equipo.

- Monitorización de vibraciones

En este caso la monitorización de las vibraciones se realizará mediante el valor recogido por el propio sistema de la bomba ciñéndose el PLC únicamente a activar una alarma en caso de que el valor se diferencie del valor límite de vibraciones ofrecido por el proveedor entre un 0 % y un 10 %, y activando la condición de avería en los casos que se sobrepase el 10 %.

Las vibraciones indican la acción de fuerzas sistemáticas, es de vital importancia el control de dichas vibraciones ya que en caso de producirse con una magnitud significativa provocará fallos o deterioros graves en el equipo.

Entre los causantes principales se encuentran causas mecánicas y causas hidráulicas. Las causas mecánicas hacen referencia al mantenimiento de las diferentes partes del equipo como podrían ser los componentes rotantes desbalanceados, desalineación de motor y bomba, contacto anormal entre las caras rotativa y estacionaria de los sellos mecánicos, rodamientos desgastados, tornillos flojos, entre otras. Por otro lado, las causas hidráulicas, hacen referencia a la metodología operativa del equipo, como por ejemplo operar lejos del punto máximo de eficiencia de la bomba, flujo turbulento.

En relación al apartado anterior, el sistema experto logra eliminar en gran medida los causantes mecánicos al desconectar el equipo en el momento justo para evitar daños mayores o realizar tareas de mantenimiento.

10.3.2 Modo de actuación

En caso de aparecer dicho fallo en el equipo de bombeo, la primera acción a realizar tratará de desconectar y aislar el equipo de forma que se evite un daño mayor en el mismo y se permita a los equipos de mantenimiento o reparación el acceso seguro. Para ello, tratándose de bombas centrífugas los pasos a seguir son:

- *Cerrar la válvula de impulsión, reduciendo la carga del motor y evitando el retroceso en caso de que la válvula de retención fallase.*
- *Parada del equipo.*
- *Cierre de la válvula de aspiración y purga de la bomba para permitir las labores de mantenimiento o reparación.*

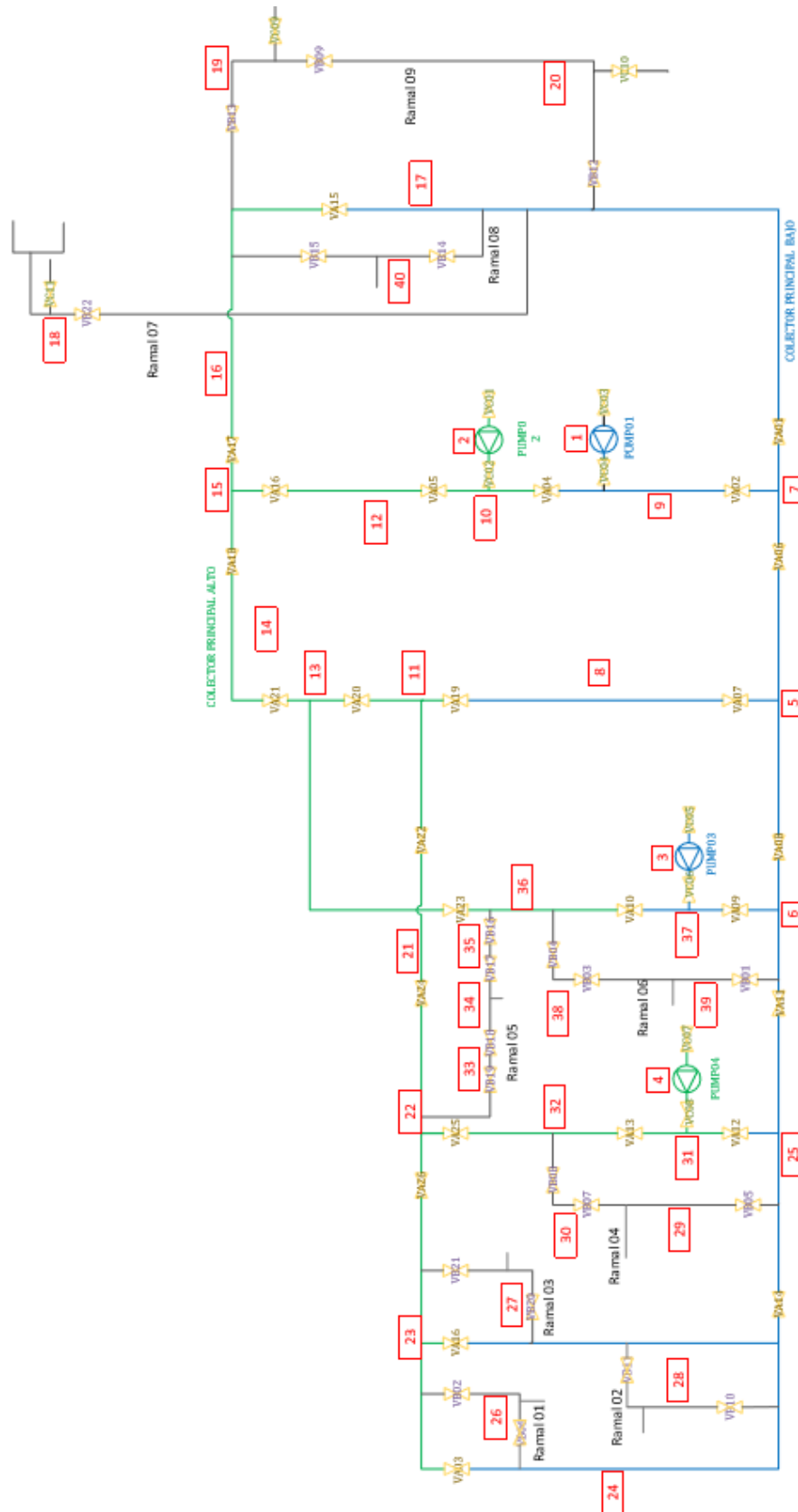
Con el equipo desconectado y aislado, la siguiente acción conectará una segunda bomba situada en el mismo colector tratando de subsanar la pérdida de caudal, para ello se deberá prestar especial atención a los consumidores de la línea ya que en algunos casos el fallo de un equipo podría requerir el cierre de algún ramal con menor importancia. Para la puesta en marcha de la bomba centrífuga, los pasos a seguir serán:

- *Con la válvula de impulsión cerrada, abrir la válvula de aspiración permitiendo el llenado de la carcasa. De esta forma se purga el aire o vapor mediante la purga alta de la carcasa.*
- *Puesta en marcha del equipo.*
- *Abrir la válvula de impulsión lentamente hasta alcanzar la presión óptima de trabajo, la abertura rápida puede ocasionar una pérdida de succión.*

10.4 Análisis de los modos de fallo

Se describen como ANEXO I todos los posibles modos de fallo y de forma esquemática, las operaciones a realizar por el sistema experto. En la siguiente imagen se muestra la numeración de todos y cada uno de los modos de fallo posteriormente indicadas. Citar que los cuatro primeros modos de fallo atienden a la pérdida involuntaria de uno de los equipos de bombeo, y los posteriores casos a la pérdida de presión en uno de los tramos tanto de los colectores como de los ramales.

Imagen 15: Análisis de los modos de fallos previstos



Fuente: Elaboración propia en base a la disposición general y situación de los equipos

11 SIMULACION DEL SISTEMA EXPERTO

Basando en los apartados anteriores, se ha realizado el caso práctico del modo de fallo 5 a fin de simular el funcionamiento del sistema experto. Se tratan a continuación todos los aspectos técnicos relacionados con el montaje, programación y desarrollo del caso práctico.

11.1 Hardware

Entendiendo como “Hardware” el conjunto de elementos físicos tangibles del sistema, se tratarán los equipos utilizados para el desarrollo del sistema en el laboratorio, estando estos limitados por las capacidades del laboratorio.

11.1.1 CPU

Debido a la necesidad de utilizar el software TIA13 para la programación y control del sistema, se hace indispensable utilizar una CPU. Basándonos en las necesidades del software, los requisitos mínimos necesarios para poder utilizar el software son:

Equipo	SIMATIC FIELD PG M4 PREMIUM o superior (o PC comparable)
Procesador	Intel® Core™ i5-3320M 3,3 GHz o superior
RAM	8 GB o más
Disco duro	300 GB SSD
Pantalla	Pantalla Wide Screen de 15,6" (1920 x 1080)

Windows 7 (64 bits)

- Windows 7 Professional SP1
- Windows 7 Enterprise SP1
- Windows 7 Ultimate SP1

Windows 8.1 (64 bits)

Sistemas operativos *	<ul style="list-style-type: none">• Windows 8.1• Windows 8.1 Professional• Windows 8.1 Enterprise
-----------------------	---

Windows Server (64 bits)

- Windows Server 2008 R2 StdE SP1 (instalación completa)
- Windows Server 2012 R2 StdE (instalación completa)

Por otro lado, debido a que se controlará el sistema remotamente mediante la red propia del laboratorio, se deberá instalar una tarjeta de red en la CPU.

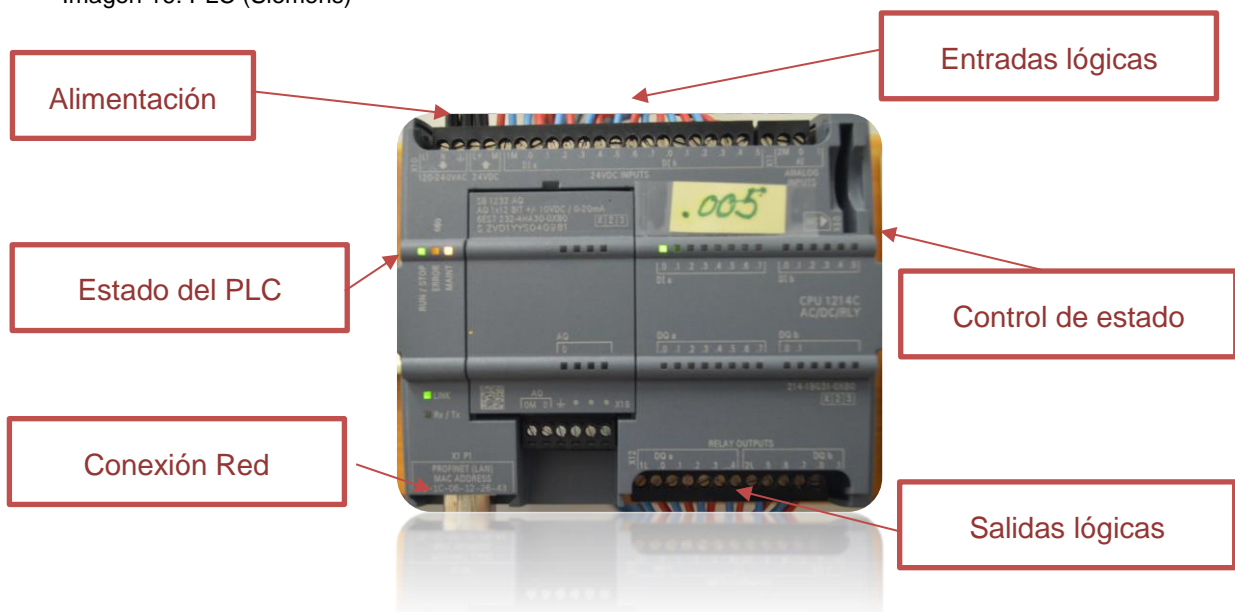
11.1.2 PLC (siemens)

Se entiende por PLC, el cerebro del sistema. Esta unidad de control permite al usuario manejar mediante programación ciertas tareas y salidas en función de lecturas de dispositivos seleccionados como entradas lógicas (en este caso lecturas de diversos sensores como por ejemplo de presión) sin necesidad de una intervención humana, de esta forma se logra eliminar ciertas tareas rutinarias en los hábitos diarios.

El programa relaciona dentro del propio PLC diferentes entradas (sensores, pulsadores, interruptores...) con las salidas, siendo en nuestro caso la excitación de las bobinas de las válvulas de mariposa o el accionamiento de los equipos de bombeo, el propio PLC es capaz de controlar las salidas mediante una serie de relés permitiendo además multitud de opciones como por ejemplo la temporización o la programación de enclavamientos ficticios.

Tratándose de un buque de índole militar, estar actualizado es un factor clave, es por esto que se ha optado por utilizar los equipos Siemens. Tras acudir a la presentación del último equipo de la compañía, han quedado despejadas las dudas sobre el monopolio de Siemens en la industria, la cual se ha visto mermada por la aparición de nuevas placas "lowcost". La simple función de actualización el sistema mediante redes inalámbricas hacen de los equipos Siemens la mejor opción ya que contribuirá en un futuro a reducir la brecha de capacidades del sistema, por otro lado, dichos equipos permiten la monitorización del consumo eléctrico de una planta completa ofreciendo el valor total desglosado por equipos, esto simplifica las tareas destinadas a permitir la implantación de un mantenimiento según la condición de los equipos, tema tratado en otro apartado del presente proyecto. La comodidad, los antecedentes, y la posibilidad de tener al personal de la propia compañía controlando o actualizando el sistema de forma remota has sido factores clave durante la decisión, ya que a medida que pasan los años crecen las necesidades que debe cumplir el buque mientras que la propia antigüedad del mismo lo impide.

Imagen 16: PLC (Siemens)

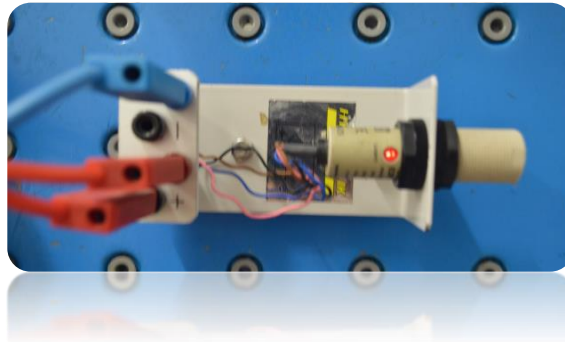


Fuente: Elaboración propia

11.1.3 Sensorización

En cuanto a la sensorización, además de los sensores digitales (tipo Reed o finales carrera) para la apertura y cierre de válvulas, se ha utilizado un sensor analógico con objeto de simular la pérdida de presión del sistema. Su señal de tensión se ha normalizado y escalado para que la información de la magnitud a medir sea interpretada por el autómatas.

Imagen 17: Sensor de proximidad



Fuente: Elaboración propia

11.1.4 Fuente de alimentación

Se hace imprescindible la instalación de una red de suministro de 220V para alimentar la CPU y el autómatas, y de 24V para alimentar tanto el panel de control y de estado como los sensores instalados.

Imagen 18: Fuente de alimentación utilizada



Fuente: Elaboración propia

11.1.5 Cuadro de control y estado

El cuadro de control ha sido separado del cuadro de estado de forma que el cuadro de control contiene únicamente los elementos que permiten de forma mecánica un cambio en el sistema. Dichos elementos son:

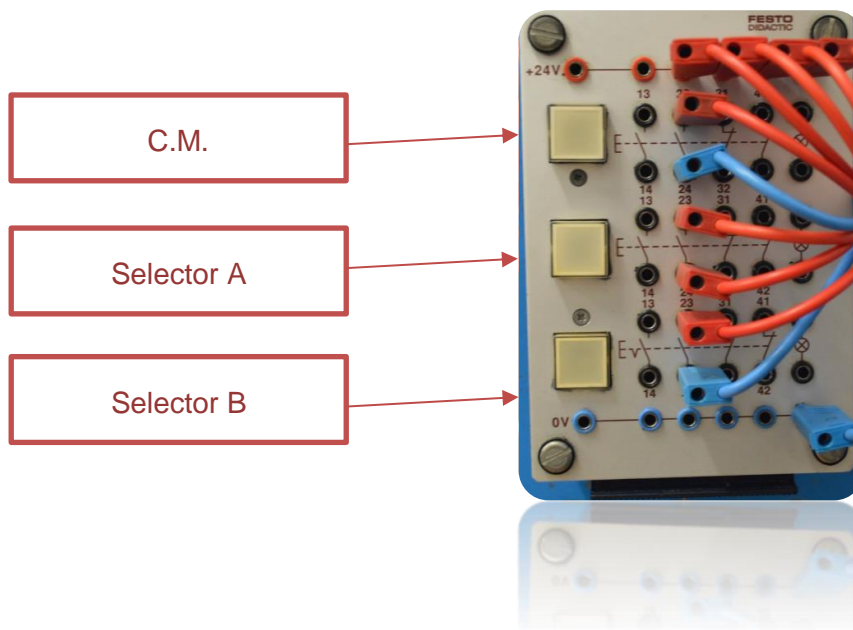
➤ **C.M.**

Permite la puesta en marcha o reinicio del sistema

➤ **Selector**

El selector (en este caso subdividido en 2) debe contemplar las cuatro posibles condiciones en las que se encontrará el buque, en el panel HMI este selector se ha sustituido por cuatro pulsadores de que no podrán activarse dos condiciones al mismo tiempo.

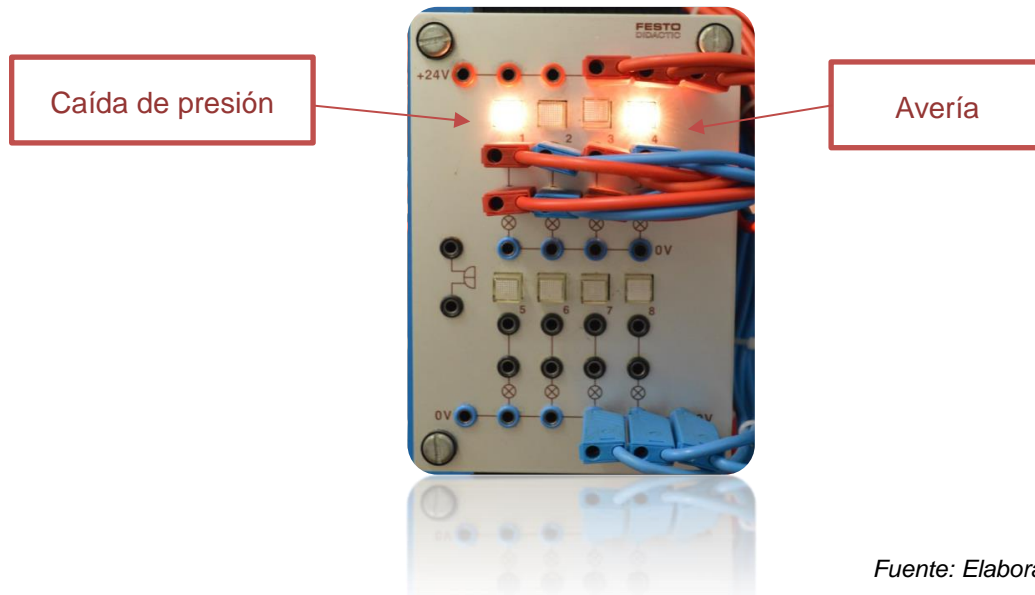
Imagen 19: Cuadro de control mecánico del programa inicial



Fuente: *Elaboración propia*

Por otro lado, el cuadro de estado muestra las variables que el operario puede necesitar para conocer cual está siendo el patrón operativo del PLC, de esta forma con una rápida visual se podrá comprobar que la operativa del sistema sea correcta.

Imagen 20: Cuadro de estado del sistema



Fuente: Elaboración propia

11.1.6 HMI

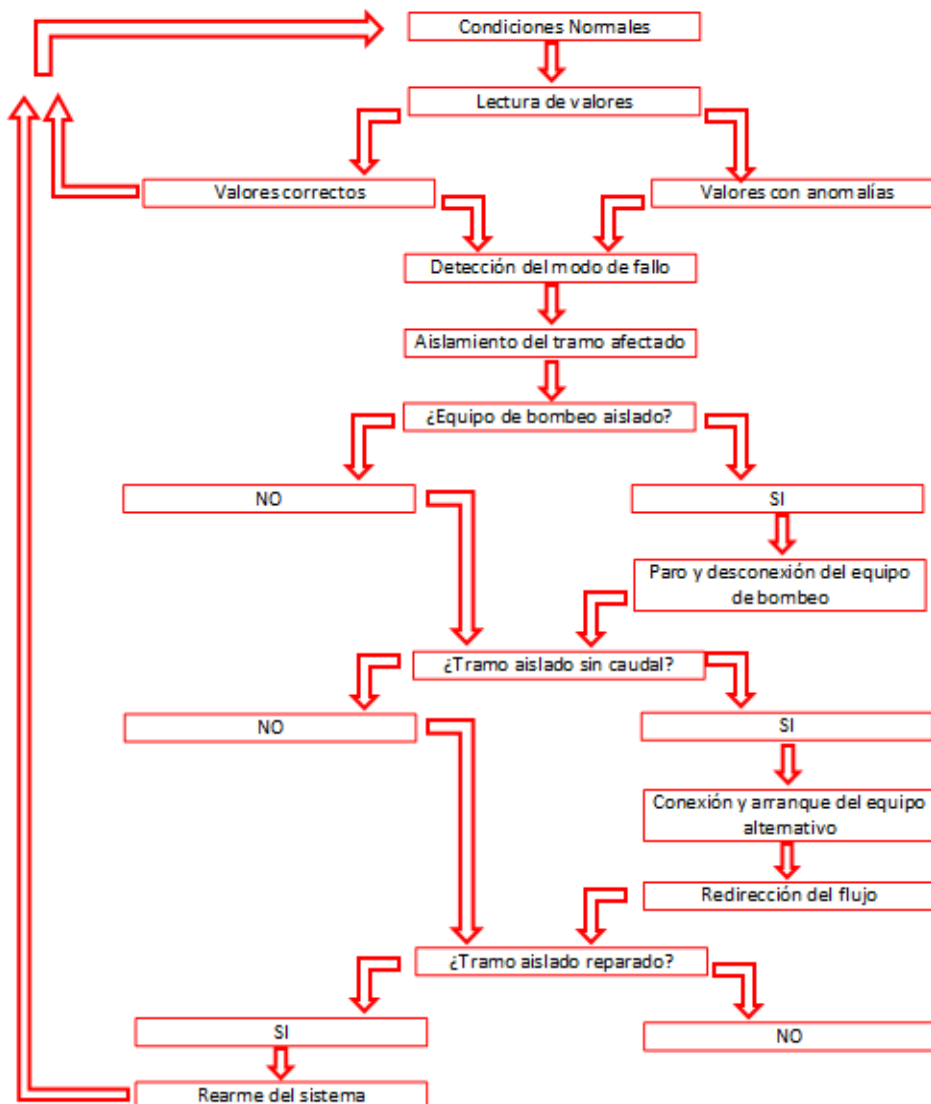
Debido a la incompatibilidad del software TIA Portal V13 con los HMI anteriores, se ha decidido simular la acción del mismo mediante la CPU a fin de validar el programa. Dicha simulación permite mediante la interacción con el mouse operar y conocer de forma simple el estado del sistema. Para ello se ha creado una imagen al gusto del armador buscando en todo momento la simplificación y favorecer la visualización de todos los elementos. Al estar conectada la CPU, vía online al sistema, es posible activar las entradas y marcas del programa desde la propia imagen que se ha creado (mediante la función Runtime), en este caso, se ha simulado además la pérdida de presión mediante sensores de presencia.

11.2 Software

11.2.1 Lógica GENERAL del sistema

Se describe a continuación la metodología de actuación implantada en el sistema experto a fin de unificar todos los casos bajo las mismas directrices. Al mismo tiempo se subdivide el proceso en tareas individuales más simples, permitiendo tratar el complejo sistema experto de forma mucho más simple y organizada.

Esquema 3: Lógica del sistema experto



* Como equipo de alternativo, siempre que sea posible se utilizará la segunda bomba del mismo colector

Fuente: Elaboración propia en base a los requerimientos del sistema

11.2.2 Grafcet

Antes de comenzar a programar el modo de fallo 5, debe realizarse lo que en programación se denomina Grafcet, esquema que representa de forma simple los pasos, condiciones y acciones que se darán de forma ordenada. El Grafcet permite seguir cierto orden y simplificar los bloques que posteriormente introduciremos al PLC. Se deberá atribuir a cada línea diferentes marcas, entradas o salidas que deberían ser activadas.

Se definen cuatro estados operativos iniciales según la condición requerida por el buque que el sistema deberá controlar mediante la actuación de pulsadores o enclavamientos para selección el modo adecuado:

➤ *Navegación:*

Se opera con el sistema contraincendios seccionado en dos zonas independientes mediante el cierre de las válvulas oportunas y el uso de los equipos de bombeo 1 y 2 pudiendo ser necesario el uso de los equipos 3 y 4 según el caudal máximo.

➤ *Puerto:*

En dicha operación el buque mantendrá todas las válvulas abiertas. Se utilizará en aquellos casos en los que el buque no se encuentre en navegación.

➤ *ZEBRA:*

Esta condición implica una sección del sistema en cuatro zonas independientes operando cada zona con su equipo de bombeo correspondiente. La sección se logra mediante la actuación de las válvulas oportunas.

➤ *Parada:*

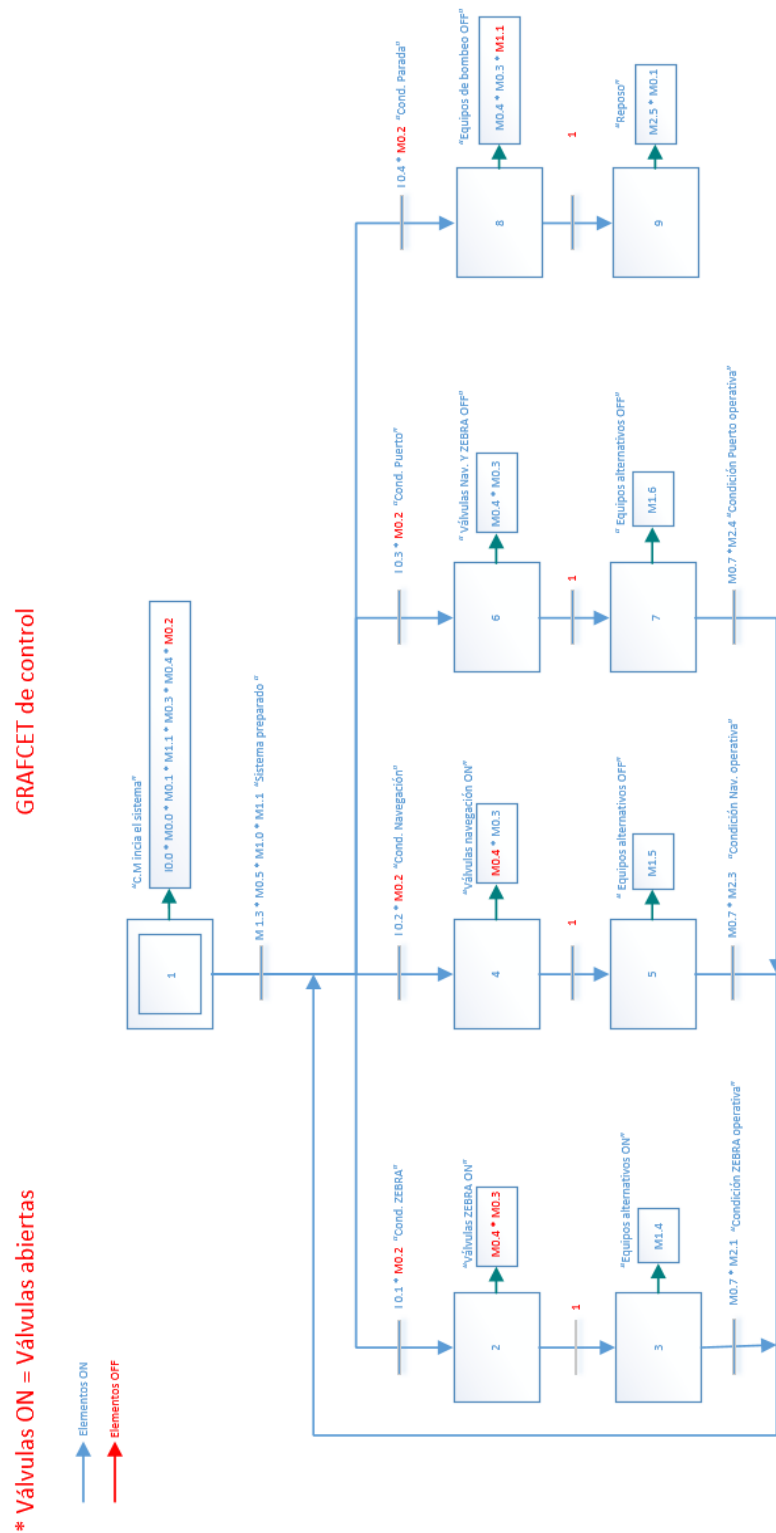
Se ha decidido implantar una cuarta condición que permite el vaciado del sistema a fin de realizar labores de mantenimiento de gran empacho o la simple desconexión.

Se instalará en este caso una quinta condición denominada "**Condición de Avería**" que prevalecerá sobre todas las anteriores, dicha condición deberá actuar en caso de ruptura o caída de presión del tramo 5 del sistema. En el programa completo, tal y como se ha descrito deberán aparecer las restantes 39 condiciones de avería posibles a fin de tener un control total sobre el sistema.

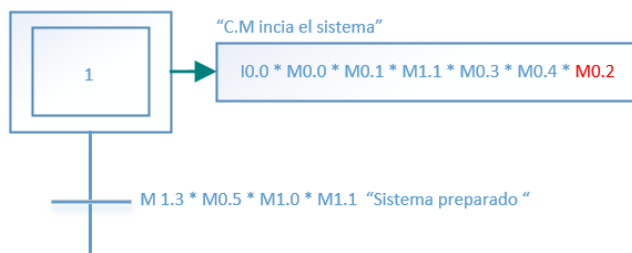
- Se instalará un sistema de simulación que permita el control y la visualización del sistema desde el ordenador o desde un monitor HMI.
- El sistema deberá suministrar el caudal necesario a los sistemas secundarios incluso con un tramo averiado, ante dicha alarma, el sistema aislará el tramo permitiendo a los técnicos solventar la avería al mismo tiempo que redirecciona y reestablece el flujo según convenga.

- Finalmente, el sistema deberá permitir la implantación de un mantenimiento según la condición del equipo en los casos de los de equipos de bombeo del mismo modo que proporciona lecturas instantáneas de las condiciones operativas de los mismos.

Esquema 4: Graficet de control del sistema experto

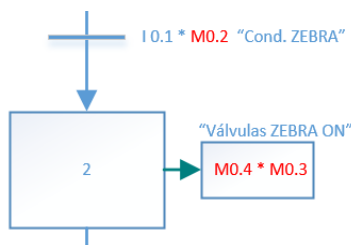


Fuente: Elaboración propia en base a la operativa del sistema experto

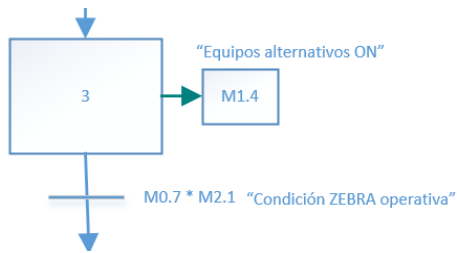


La primera etapa o punto de partida es la condición en la que se encontraría el buque en caso de tener el sistema desconectado. Partimos de la base de que el colector principal no está cebado y que se desconoce la posición inicial de las válvulas. Se plantea un sistema de control que se inicia con solo pulsar C.M. (condición de marcha). En nuestro caso la condición de marcha implica únicamente la activación del pulsador de arranque. De forma ordenada, el sistema abrirá la totalidad de las válvulas a excepción de la válvula de descarga y posteriormente conectará los equipos de bombeo principales 1 y 2.

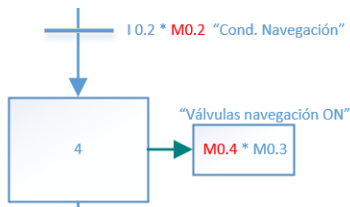
Una vez lleno el colector, las lecturas de presión de los cuatro sensores más desfavorables (posiciones más desfavorables de cada posible zona independiente) serán las encargadas de la activación de la marca denominada "Sistema preparado" que da paso a la segunda etapa una vez alcanzada la presión de operación calculada de forma similar al tramo 5. En este punto la posición marcada por el selector de condición del buque indicará cuál de los cuatro caminos recorrerá el programa, comenzaremos a describir la operativa de la condición ZEBRA:



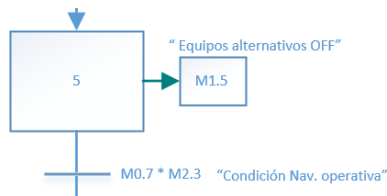
Con el selector activando la entrada correspondiente a condición ZEBRA, a menos que se haya detectado una avería, el primer paso consistirá en el cierre de las válvulas de navegación (VA03 – VA15 – VA25 – VA16 – VA19) y de las válvulas ZEBRA (VA04 – VA08 – VA12 – VA22). Para ello el programa reseteará la marca que mantiene las bobinas correspondientes con tensión.



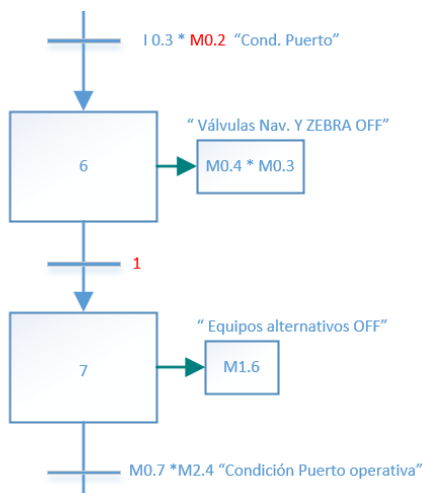
Con las válvulas pertinentes ya cerradas, el sistema queda dividido en cuatro zonas independientes, lo que hace imprescindible conectar los equipos de bombeo alternativos 3 y 4. De nuevo, las lecturas de los cuatro sensores de presión indicarán el momento en que el sistema está operativo según la condición ZEBRA.



En caso de seleccionar la condición de navegación, el funcionamiento del sistema es muy similar al caso anterior, en dicho modo las válvulas ZEBRA deberán mantener la tensión y por tanto permanecer abiertas.

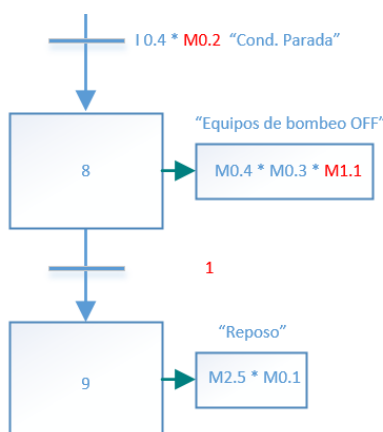


Debido a que el cierre de las válvulas de navegación únicamente divide el sistema en dos zonas independientes, no es necesario el arranque del bombeo auxiliar, por lo que una vez cerradas las válvulas pertinentes se activará la marca que indica la correcta operación en condición de navegación cuando los cuatro sensores indiquen una presión correcta.



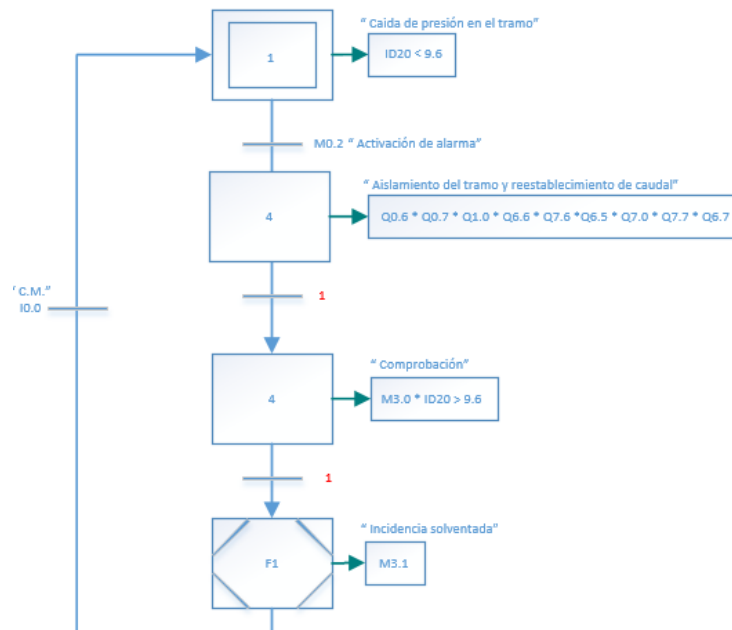
La tercera opción se empleará cuando el buque se encuentre en puerto, tras girar el selector a dicha posición, el sistema abrirá la totalidad de las válvulas a excepción de la válvula de descarga. En este caso ya que el sistema no se divide en zonas independientes bastará con analizar la lectura de los cuatro sensores a fin de comprobar que el sistema opera con normalidad en dicha condición.

Finalmente, se describe la condición de parada que permitirá la desconexión y el vaciado del sistema. Debemos citar que esta condición es la única que podría seguir operando ante una avería ya que no implicaría ningún riesgo y es posible que sea necesario desconectar el sistema para llevar a cabo tanto labores de mantenimiento de gran envergadura como reparaciones. Para ello el sistema deberá desconectar los equipos de bombeo, abrir las válvulas pertinentes y en este caso abrir la válvula de descarga. Aguas abajo se situaría un sensor de presión que permitiría conocer si el sistema se está descargando y con esto la correcta operación de la propia válvula.



La última etapa indicaría un estado final donde el sistema resetea todas las marcas y de nuevo cierra la válvula de descarga. En este punto sería necesario volver a pulsar C.M. para reiniciar el sistema.

Esquema 5: Grafcet de emergencia del sistema experto (funcionamiento ante una avería)



Fuente: Elaboración propia en base a la operativa del sistema experto

El Grafcet de emergencia describe la operación que seguirá el sistema ante una avería, como ya se ha indicado con anterioridad, el Grafcet de emergencia prevalecerá ante cualquier condición descrita por el Grafcet de control, excepto el caso de parada que seguirá ejecutándose a fin de vaciar y desconectar el sistema.

La operación a seguir buscará por un lado el aislamiento del tramo afectado, permitiendo a los técnicos acceder a él de forma segura, y por otro lado recircular el flujo de agua según sea necesario, para esto deberá reconocer mediante el sensor que ha detectado la avería que válvulas y equipos de bombeo deberán manipularse. Dicho esto, el sistema comprobará que la avería ha sido subsanada de forma temporal y se indicará mediante la activación de una marca de etapa destinada a tal fin.

Finalmente y con la avería ya reparada los operarios podrán deshacer los cambios con solo pulsar C.M, esto se debe a eliminar el riesgo de que tras la reparación, el sensor de presión pueda dar una lectura errónea y coger desprevenidos a los operarios, de esta forma se hace imprescindible el factor humano para revertir los cambios. En caso de pulsar de forma accidental C.M. sin estar subsanada la avería el sistema se mantendría en modo de avería.

11.2.3 TIA PORTAL

Este apartado se centra en la programación realizada para poder simular el modo de fallo número 5. Tratando de dar mayor amplitud al sistema experto, se ha programado de forma que se permita:

- Realizar cambios de estado de navegación
- Rearme del sistema tras la reparación o mantenimiento
- Análisis de forma visual de la situación del sistema

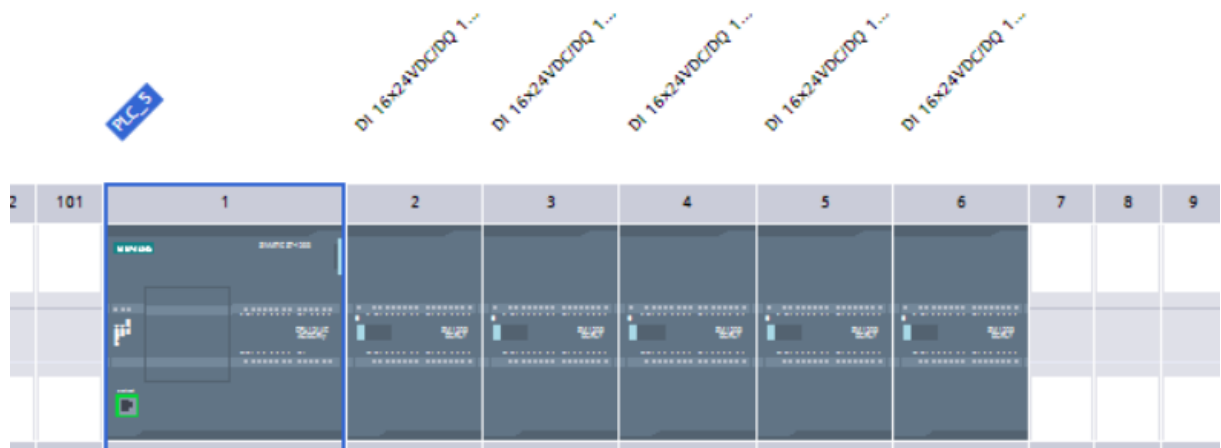
A la hora de programar el sistema, se han utilizado marcas de estado a fin de poder controlar cada etapa mediante la activación o desactivación de la marca anterior, dicha metodología resulta muy útil ya que permite mantener en todo momento una redundancia de marcas y la consiguiente redundancia de seguridad al ser totalmente imposible la simultaneidad de dos acciones no deseadas, buena cuenta de ello se da en la secuencia de conexión o desconexión de forma segura de los equipos de bombeo donde se deben activar de forma secuencial y nunca simultanea las válvulas de aspiración, válvulas de impulsión y los propios equipos de bombeo.

Configuración de dispositivos

Antes de comenzar a programar el sistema experto, se debe configurar el programa de forma que se permita la conexión con el dispositivo, para ello debemos comenzar por conectar el PLC y la CPU a la red online mediante un cable de red común (versiones anteriores utilizaban conectores específicos y caros). Una vez listo, el siguiente paso será agregar a nuestro proyecto las unidades que deseamos utilizar y establecer la conexión entre ellos. Es importante para poder realizar la conexión asignar tanto a la CPU como al PLC una dirección IP fija, sobre todo si en la misma red podemos encontrar más equipos. Se muestra en las siguientes imágenes el resultado de dicha configuración y como se debe realizar la conexión con el equipo para posteriormente poder realizar la carga o la simulación del programa. Entre los equipos a incluir para realizar la conexión encontramos la CPU junto a su tarjeta de red y el propio PLC, en este caso denominado PLC_5 (IP fija=192.168.0.005).

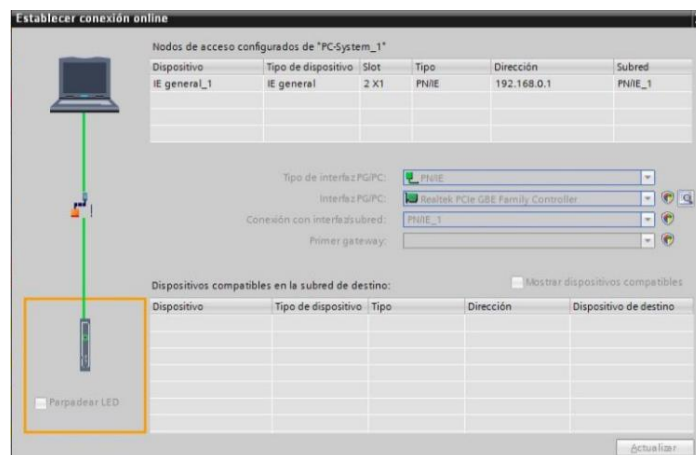
Imagen 21: Configuración de la conexión entre CPU, PLC y módulos de expansión





Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Imagen 22: Establecimiento de comunicación entre CPU y PLC



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

NOTA: a la hora de realizar la conexión con varios dispositivos, el software permite provocar el parpadeo de uno de los led a fin de poder identificar el autómata y evitar cargar el programa en otro dispositivo el cual podría perder la configuración.

Tabla de variables

En primer lugar se deberá crear de forma ordenada una tabla de variables que posteriormente nombraremos desde los bloques del programa, es aquí donde se indica el tipo de variable que estamos manejando y la dirección que el PLC debe atribuirle. Debemos citar que el software permite crear multitud de marcas permitiendo una programación más comodidad y ordenada al utilizar marcas de estado.

Imagen 23: Listado de variables utilizadas en el caso de aplicación

Variables PLC							
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario	
VA01	Bool	%Q0.0	False	True	True		
VA02	Bool	%Q0.1	False	True	True		
VA03	Bool	%Q0.2	False	True	True		
VA04	Bool	%Q0.3	False	True	True		
VA05	Bool	%Q0.5	False	True	True		
VA06	Bool	%Q0.6	False	True	True		
VA07	Bool	%Q0.7	False	True	True		
VA08	Bool	%Q1.0	False	True	True		
VA09	Bool	%Q1.1	False	True	True		
VA10	Bool	%Q1.2	False	True	True		
VA11	Bool	%Q1.3	False	True	True		
VA12	Bool	%Q1.4	False	True	True		
VA13	Bool	%Q1.5	False	True	True		
VA14	Bool	%Q1.6	False	True	True		
VA15	Bool	%Q1.7	False	True	True		
VA16	Bool	%Q2.0	False	True	True		
VA17	Bool	%Q2.1	False	True	True		
VA18	Bool	%Q2.2	False	True	True		
VA19	Bool	%Q2.3	False	True	True		
VA20	Bool	%Q2.4	False	True	True		
VA21	Bool	%Q2.5	False	True	True		
VA22	Bool	%Q2.6	False	True	True		
VA23	Bool	%Q2.7	False	True	True		
VA24	Bool	%Q3.0	False	True	True		
VA25	Bool	%Q3.1	False	True	True		
VA26	Bool	%Q3.2	False	True	True		
VB01	Bool	%Q3.3	False	True	True		
VB02	Bool	%Q3.4	False	True	True		
VB03	Bool	%Q3.5	False	True	True		
VB04	Bool	%Q3.6	False	True	True		
VB05	Bool	%Q3.7	False	True	True		
VB06	Bool	%Q4.0	False	True	True		
VB07	Bool	%Q4.1	False	True	True		
VB08	Bool	%Q4.2	False	True	True		
VB09	Bool	%Q4.3	False	True	True		
VB10	Bool	%Q4.4	False	True	True		
VB11	Bool	%Q4.5	False	True	True		
VB12	Bool	%Q4.6	False	True	True		
VB13	Bool	%Q4.7	False	True	True		
VB14	Bool	%Q5.0	False	True	True		
VB15	Bool	%Q5.1	False	True	True		
VB16	Bool	%Q5.2	False	True	True		
VB17	Bool	%Q5.3	False	True	True		
VB18	Bool	%Q5.4	False	True	True		
VB19	Bool	%Q5.5	False	True	True		
VB20	Bool	%Q5.6	False	True	True		
VB21	Bool	%Q5.7	False	True	True		
VB22	Bool	%Q6.0	False	True	True		
VC01	Bool	%Q6.1	False	True	True		
VC02	Bool	%Q6.2	False	True	True		
VC03	Bool	%Q6.3	False	True	True		
VC04	Bool	%Q6.4	False	True	True		
VC05	Bool	%Q6.5	False	True	True		
VC06	Bool	%Q6.6	False	True	True		
VC07	Bool	%Q6.7	False	True	True		
VC08	Bool	%Q7.0	False	True	True		
VC09	Bool	%Q7.1	False	True	True		
VC10	Bool	%Q7.2	False	True	True		
VC11	Bool	%Q7.3	False	True	True		

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
C.M.	Bool	%I0.0	False	True	True	
Valvulas iniciales	Bool	%M0.0	False	True	True	
Valvula descarga	Bool	%M0.1	False	True	True	
Cond. ZEBRA	Bool	%I0.1	False	True	True	
Cond. Nav	Bool	%I0.2	False	True	True	
Cond. Puerto	Bool	%I0.3	False	True	True	
Cond. Parada	Bool	%I0.4	False	True	True	
Averia	Bool	%M0.2	False	True	True	
Valvulas ZEBRA	Bool	%M0.3	False	True	True	
Valvulas Navegacion	Bool	%M0.4	False	True	True	
Bomba 1	Bool	%Q7.4	False	True	True	
Bomba 2	Bool	%Q7.5	False	True	True	
Bomba3	Bool	%Q7.6	False	True	True	
Bomba4	Bool	%Q7.7	False	True	True	
Presion 5	Real	%ID20	False	True	True	
Presion 1	Real	%ID47	False	True	True	
Presion 2	Real	%ID48	False	True	True	
Presion 3	Real	%ID49	False	True	True	
Presion 4	Real	%ID50	False	True	True	
Presion 6	Real	%ID51	False	True	True	
Presion 7	Real	%ID52	False	True	True	
Presion 8	Real	%ID53	False	True	True	
Presion 9	Real	%ID54	False	True	True	
Presion 10	Real	%ID55	False	True	True	
Presion 11	Real	%ID56	False	True	True	
Presion 12	Real	%ID57	False	True	True	
Presion 13	Real	%ID58	False	True	True	
Presion 14	Real	%ID59	False	True	True	
Presion 15	Real	%ID60	False	True	True	
Presion 16	Real	%ID22	False	True	True	
Presion 17	Real	%ID23	False	True	True	
Presion 18	Real	%ID24	False	True	True	
Presion 19	Real	%ID25	False	True	True	
Presion 20	Real	%ID26	False	True	True	
Presion 21	Real	%ID27	False	True	True	
Presion 22	Real	%ID28	False	True	True	
Presion 23	Real	%ID29	False	True	True	
Presion 24	Real	%ID30	False	True	True	
Presion 25	Real	%ID31	False	True	True	
Presion 26	Real	%ID32	False	True	True	
Presion 27	Real	%ID33	False	True	True	
Presion 28	Real	%ID34	False	True	True	
Presion 29	Real	%ID35	False	True	True	
Presion 30	Real	%ID36	False	True	True	
Presion 31	Real	%ID37	False	True	True	
Presion 32	Real	%ID38	False	True	True	
Presion 33	Real	%ID39	False	True	True	
Presion 34	Real	%ID40	False	True	True	
Presion 35	Real	%ID41	False	True	True	
Presion 36	Real	%ID42	False	True	True	
Presion 37	Real	%ID43	False	True	True	
Presion 38	Real	%ID44	False	True	True	
Presion 39	Real	%ID45	False	True	True	
Presion 40	Real	%ID46	False	True	True	
Cebado completo	Bool	%M1.0	False	True	True	
Etapla conexión bombeo principal	Bool	%M0.6	False	True	True	
Presion del sistema OK	Bool	%M0.7	False	True	True	
Marca bombeo inicial	Bool	%M1.1	False	True	True	
Presion descarga	Bool	%I0.5	False	True	True	
Marca descargando	Bool	%M1.2	False	True	True	
Marca sistema preparado	Bool	%M1.3	False	True	True	
Marca zebra	Bool	%M1.4	False	True	True	
Marca navegacion	Bool	%M1.5	False	True	True	
Marca puerto	Bool	%M1.6	False	True	True	

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
Marca parada	Bool	%M1.7	False	True	True	
Condición zebra activo	Bool	%M2.1	False	True	True	
Condición Navegación activa	Bool	%M2.3	False	True	True	
Condición Puerto activa	Bool	%M2.4	False	True	True	
Condición Parada activa	Bool	%M2.5	False	True	True	
Marca tramo 5 aislado	Bool	%M3.0	False	True	True	
Avería solventada	Bool	%M3.1	False	True	True	
presión 5 norm	Real	%MD20	False	True	True	
presión 5 esc	Real	%MD21	False	True	True	
presión 16 norm	Real	%MD26	False	True	True	
presión 16 esc	Real	%MD30	False	True	True	
presión 17 norm	Real	%MD34	False	True	True	
presión 17 esc	Real	%MD38	False	True	True	
presión 23 norm	Real	%MD42	False	True	True	
presión 23 esc	Real	%MD46	False	True	True	
presión 24 norm	Real	%MD50	False	True	True	
presión 24 esc	Real	%MD54	False	True	True	
Primer ciclo	Bool	%M4.0	False	True	True	
marca fase reposo	Bool	%M4.1	False	True	True	

Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Tipos de variables utilizadas:

I (x,y) – entrada lógica

M (x,y) – marcas

Q (x,y) – salida lógica, en este caso se han simulado mediante marcas

ID - entradas utilizadas para sensores analógicos

MD – marcas utilizadas en la conversión de los valores analógicos

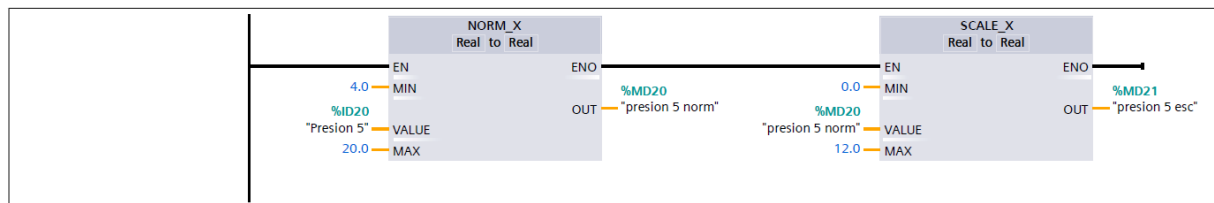
NOTA: X en función del número máximo de entradas e Y representa cada subdirección de X con valores entre 0 y 7. Las variables de tipo “real” son aquellas que permiten valores decimales, los sensores de presión utilizados entregan un valor de voltaje con decimales relacionado directamente con valores de presión, es por esto que se deben utilizar variables de tipo “real”.

11.3 Normalizado y escalado de variables analógicas

En este apartado se explicará la programación que se cargará en el PLC, dicho programación ha sido probada y simulada forzando de forma manual las variables. Antes de comenzar a hablar sobre el bloque principal, debido a que los sensores de presión son analógicos (sus lecturas pueden tomar valores diferentes de 1 y 0) se muestra la metodología empleada para convertir la señal procedente del sensor en una variable que el programa pueda manejar. Para ello debemos en primer lugar normalizar la variable y posteriormente escalarla según el rango de valores de voltaje que el sensor pueda ofrecer. Como todos los sensores son idénticos, únicamente se mostrará en dicho apartado la metodología correspondiente al sensor de presión del tramo 5. El sensor aguas debajo de la válvula de descarga no será analógico, esto se debe a que no es necesario conocer la presión, sino que únicamente debemos conocer si está o no descargando (valores de 0 o de 1), por otro lado, el no ser analógico permite ver la diferencia a la hora de tratar los valores obtenidos a la hora de programar.

Imagen 24: Normalizado y escalado de entradas analógicas

Segmento 1: Presión 5



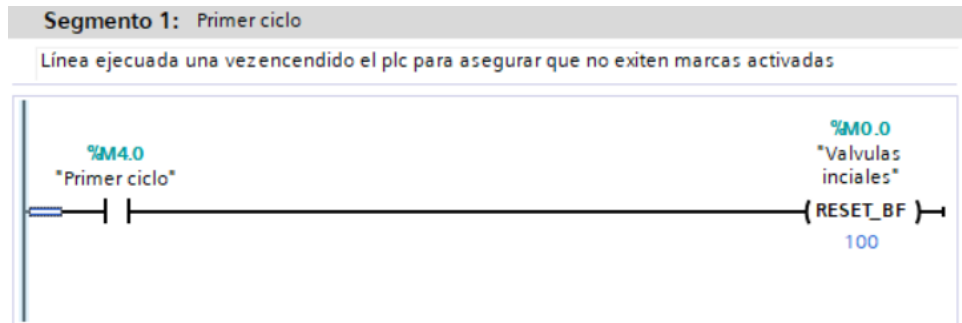
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"presion 5 esc"	%MD21	Real	
"presion 5 norm"	%MD20	Real	
"Presion 5"	%ID20	Real	

Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

11.4 Bloques de programación principal

A pesar de que los nuevos autómatas tiene predefinida la acción de limpiar cualquier marca que pueda quedar activada en usos anteriores, se define una primera línea que permite borrar cualquier marca que permanezca activa cada vez que se enciende el PLC, por otro lado facilita la exportación del programa a PLCs obsoletos todavía muy presentes.

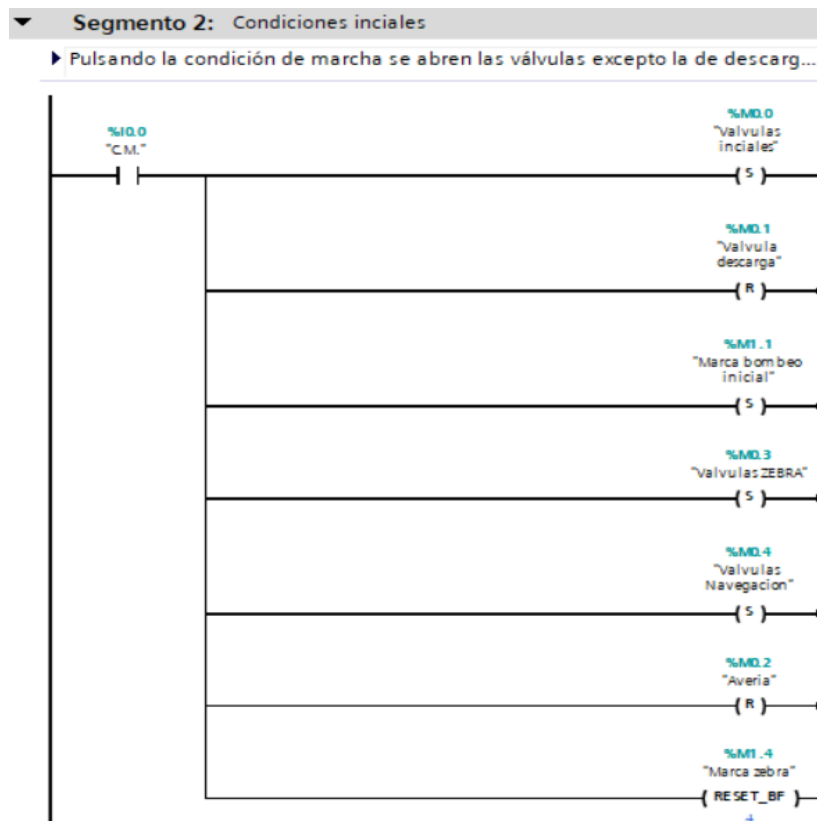
Imagen 25: Reseteo de marcas inicial



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

En este caso se debe activar en la propia configuración del PLC la marca de primer ciclo, dicha marca se activaría una única vez reseteando cien marcas desde "Válvulas iniciales" (M0.0).

Imagen 26: Arranque del sistema

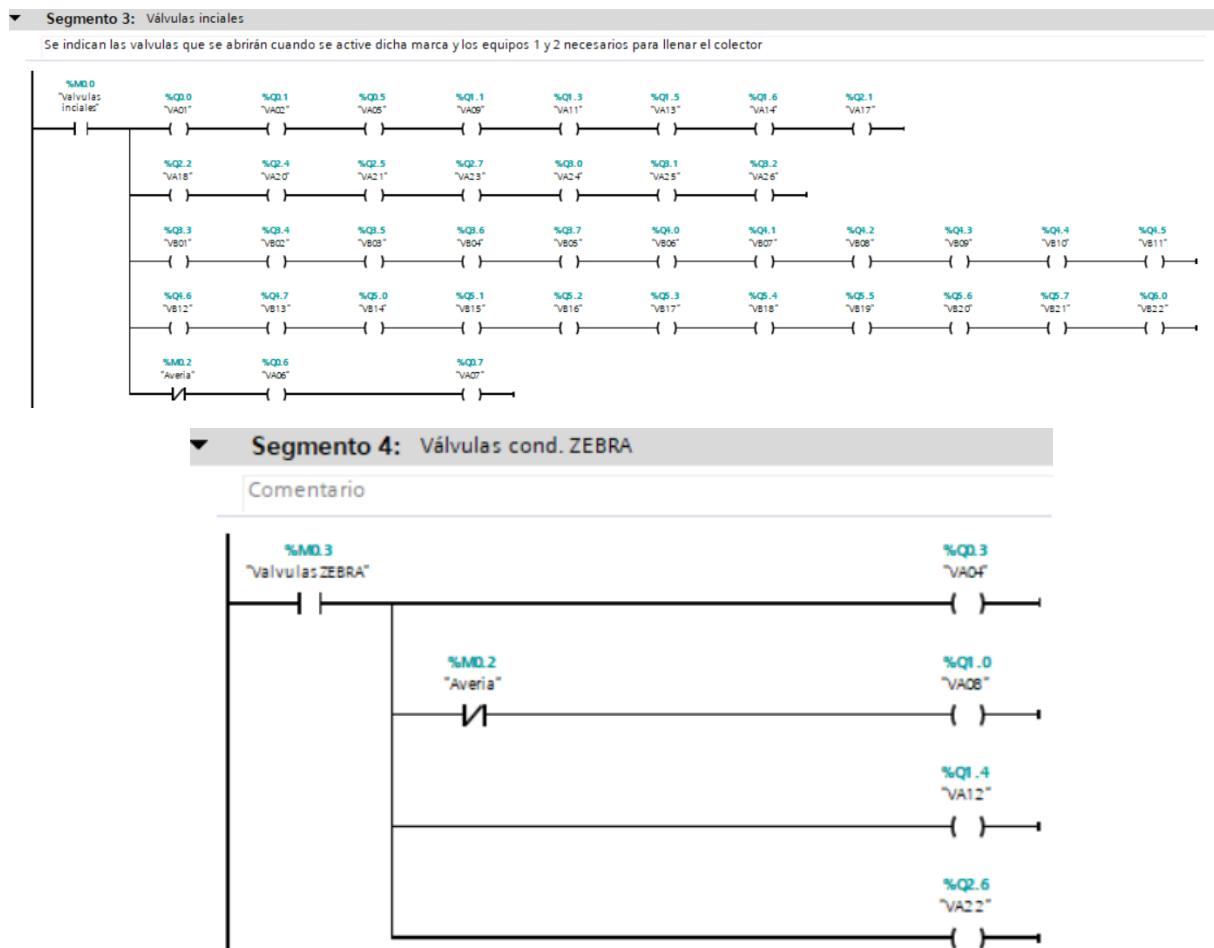


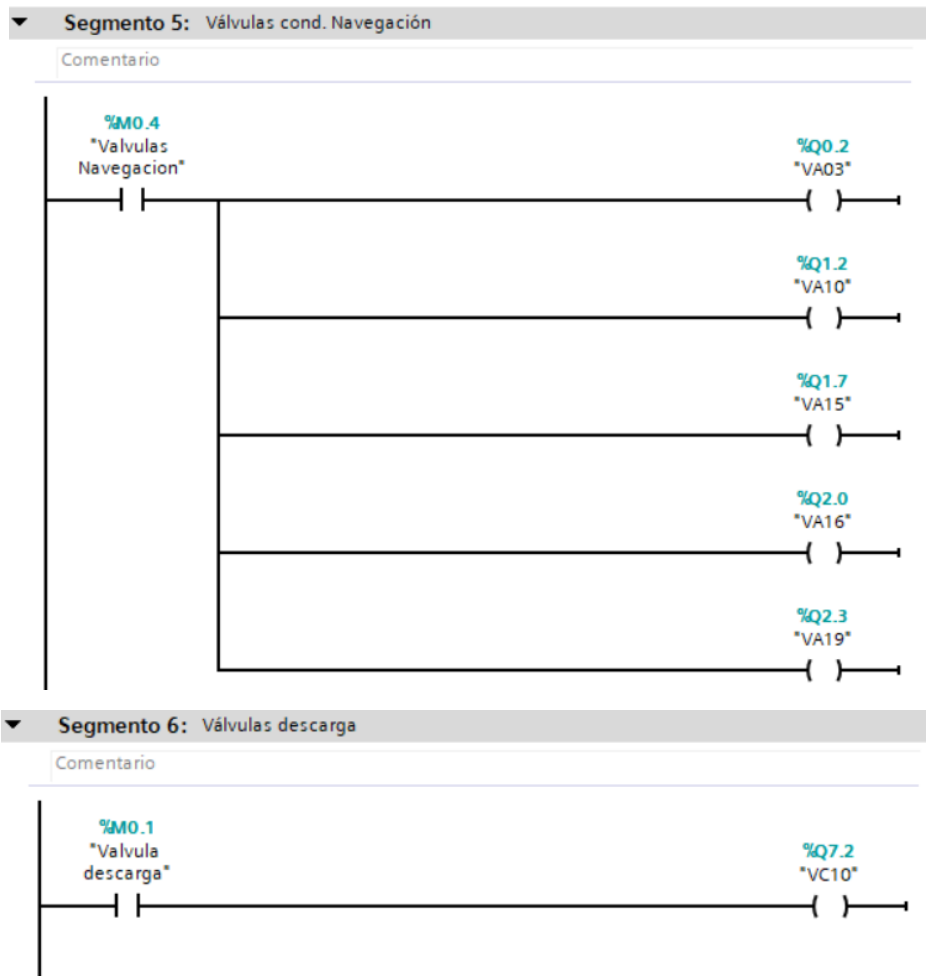
Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

El punto de partida del sistema es desconocido, tanto de si está cebado o cual es la posición de las válvulas, debido a esto una vez pulsado C.M (arrancando el sistema) se activarán las diferentes marcas encargadas de abrir las válvulas iniciales (válvulas indicadas en amarillo sin relleno en el esquema general), válvulas ZEBRA y las válvulas de Navegación, por otro lado debido a que pretendemos cebar el sistema se activarán las marcas que cierran la válvula de descarga y ponen en marcha los equipos de bombeo principales, la marca de avería se reseteará pulsando C.M a fin de rearmar el sistema una vez subsanada cualquier avería, esto impide que un cambio involuntario sorprenda a los técnicos durante sus labores.

Se muestran a continuación separadas por categorías, las válvulas que manipularía cada marca, simplemente la activación de dicha marca abriría las válvulas excepto las válvulas que deben ser manipuladas en caso de avería, esto se debe a que deben operarse de forma independiente al resto.

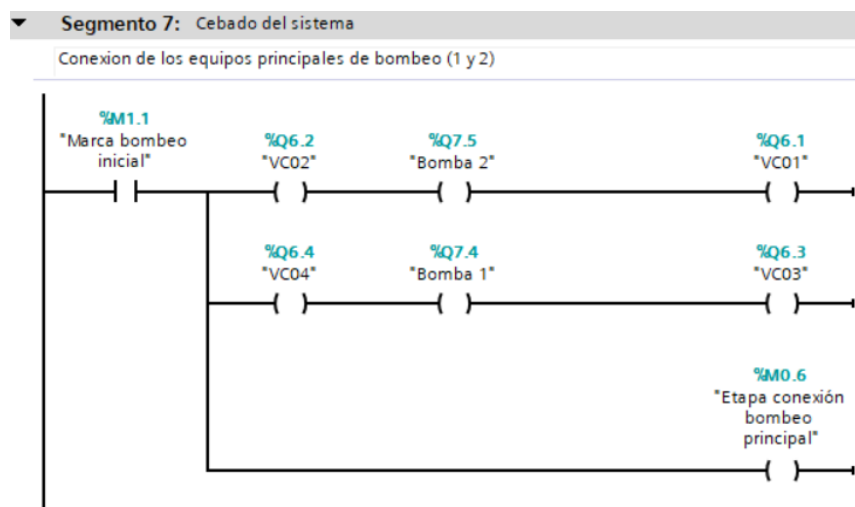
Imagen 27: División de las válvulas según prioridad





Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

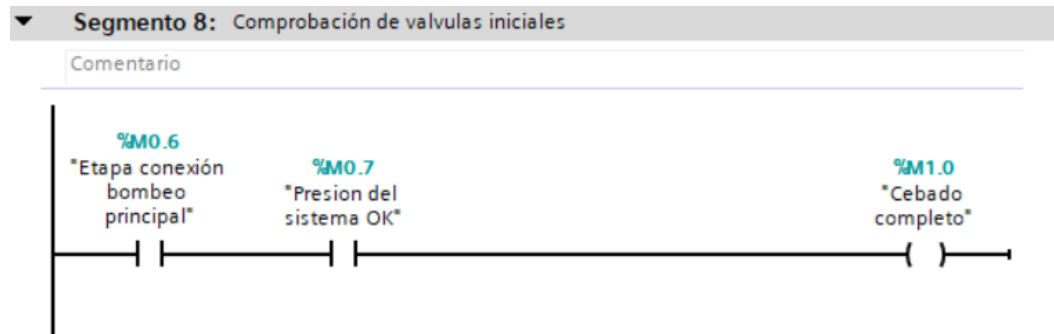
Imagen 28: Cebado del sistema



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

La activación de la marca de bombeo inicial activa la secuencia de conexión segura donde una vez abiertas las impulsiones y conectados los equipos de bombeo principales se abren las descargas. Al mismo tiempo se activa la marca "Etapa conexión bombeo principal" que permite al programa pasar al siguiente paso.

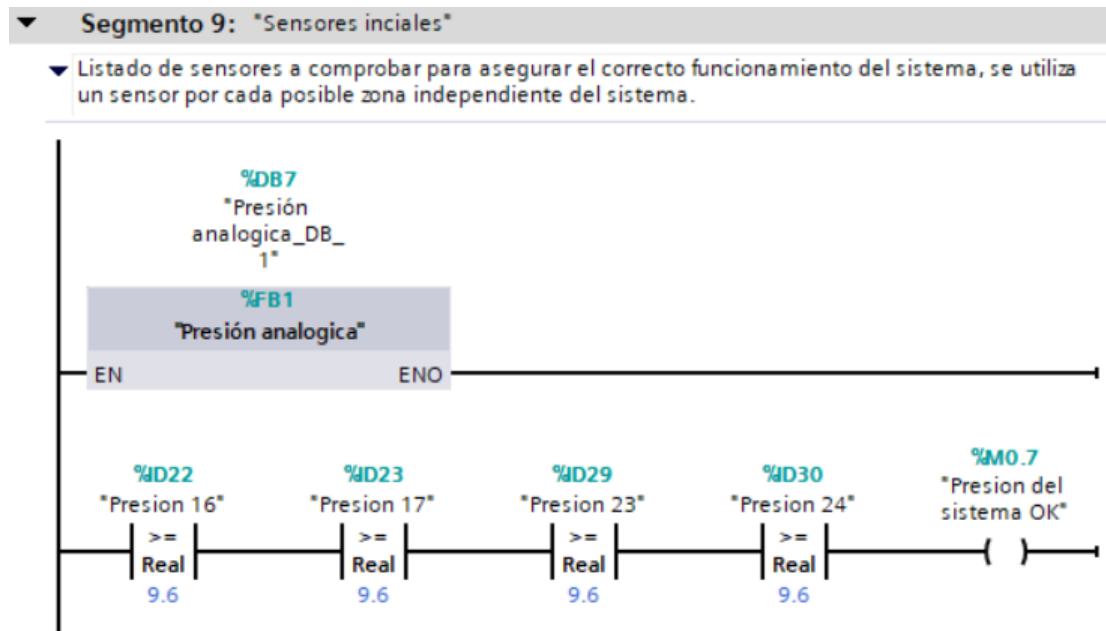
Imagen 29: Comprobación de sistema presurizado



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Dicho paso comprobará que el sistema tiene la presión necesaria al mismo tiempo que activará la siguiente marca de etapa.

Imagen 30: Sensores de presión por zonas

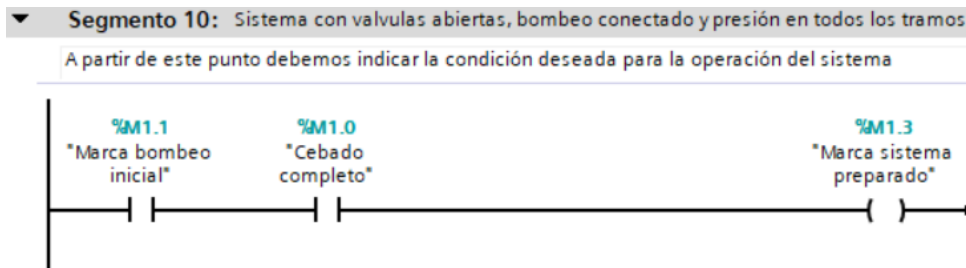


Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

El primer paso consistirá en llamar al sub-bloque donde se han definido las entradas analógicas de igual modo que ya se ha explicado para el sensor del tramos 5.

Este segmento activará la marca que indica que el sistema está correctamente presurizado, para ello contará con cuatro sensores situados en la situación más desfavorable de cada posible zona independiente. Dichas válvulas estarán taradas siguiendo la metodología ya empleada en apartados anteriores. En este caso se han tarado dichos valores a 9,6 bar, presión a partir de la cual se activaría el modo de avería del tramo 5.

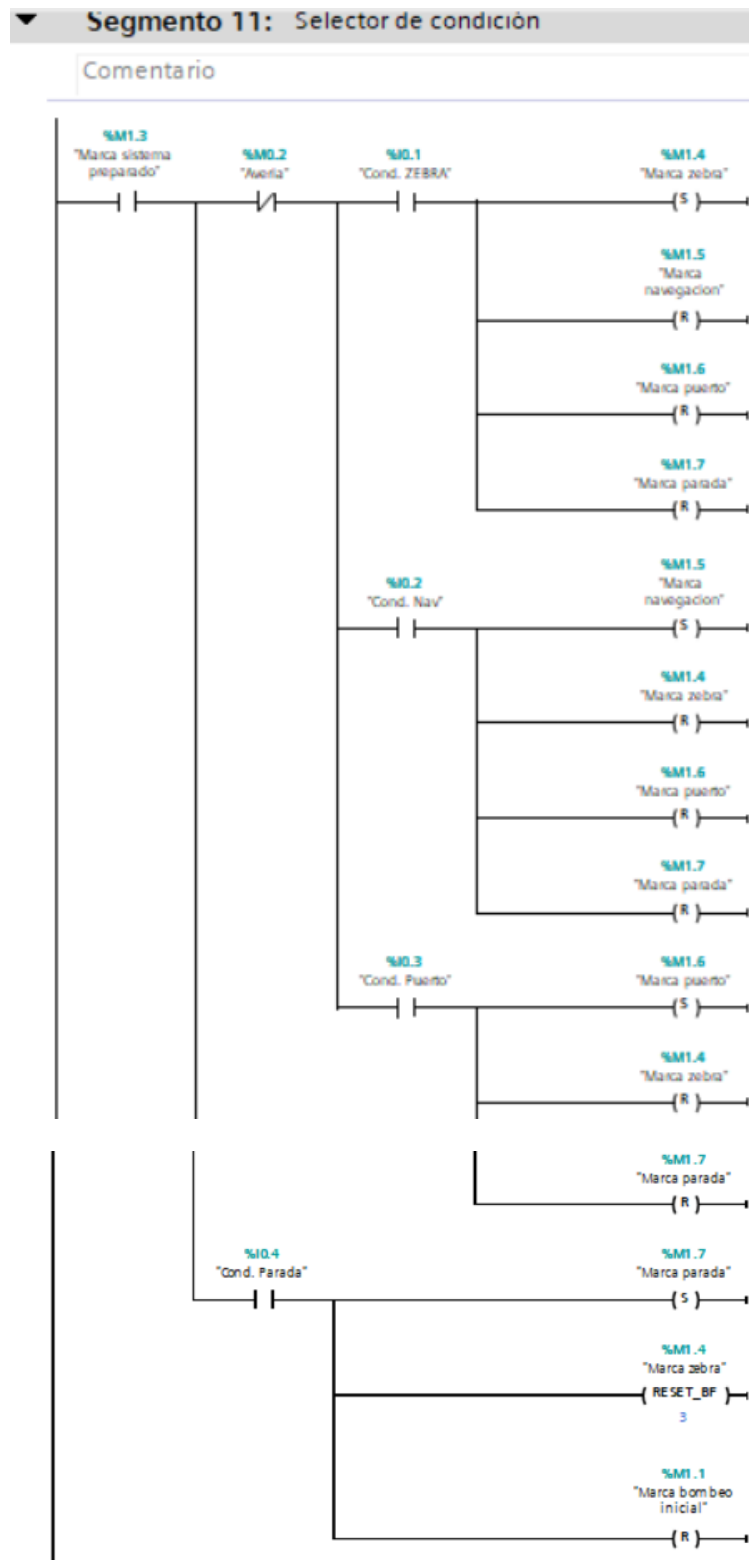
Imagen 31: Sistema listo para operar



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Llegados a este punto, el sistema revisará las marcas activas, comprobando que las válvulas están abiertas y el sistema correctamente cebado. Activará entonces la marca que permitirá pasar a la selección del modo de funcionamiento deseado.

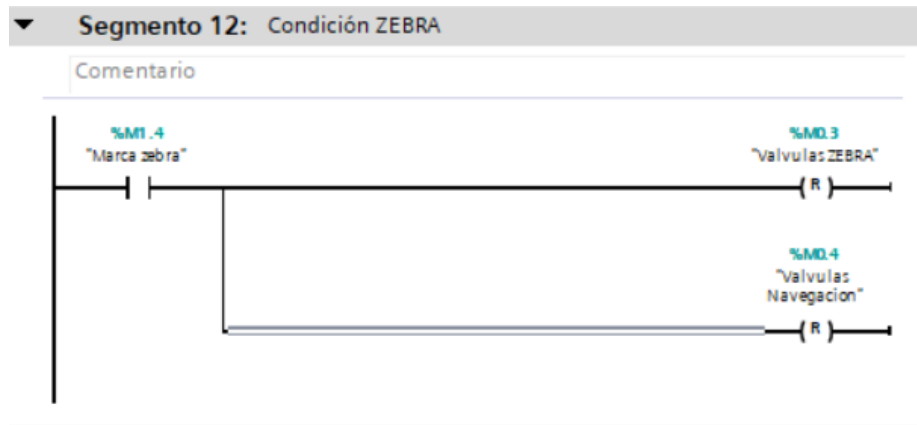
Imagen 32: Selección del modo de operación



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

En este caso, mediante un selector de cuatro posiciones o pulsadores se activará la marca correspondiente, cada marca de operación acarrea una serie de cambios que se describen a continuación. Por otro lado, tal y como se muestra es posible activar el paro y desconexión del sistema ante una avería, mientras que en caso de estar activada la marca de avería el sistema no podrá operar de forma habitual, esto se debe a que ante una avería de gran envergadura debe permitirse el vaciado del sistema en caso de ser necesario.

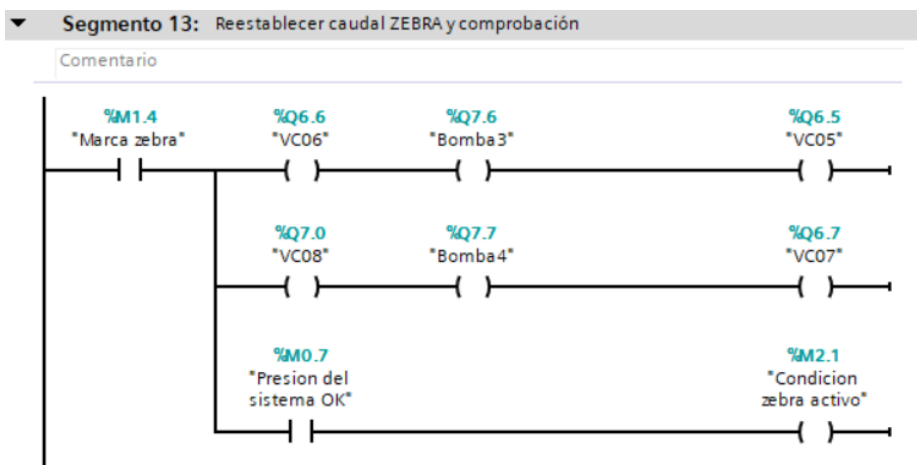
Imagen 33: Condición ZEBRA



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

La condición ZEBRA es la más restrictiva de las cuatro opciones de operación, implica el cierre tanto de las válvulas ZEBRA como las válvulas de Navegación, lo que dejaría el sistema aislado en cuatro zonas. Por seguridad se procederá reseteando las demás opciones a fin de imposibilitar la ejecución de dos o más condiciones simultáneamente, dicho reseteo se aprecia en el segmento del selector.

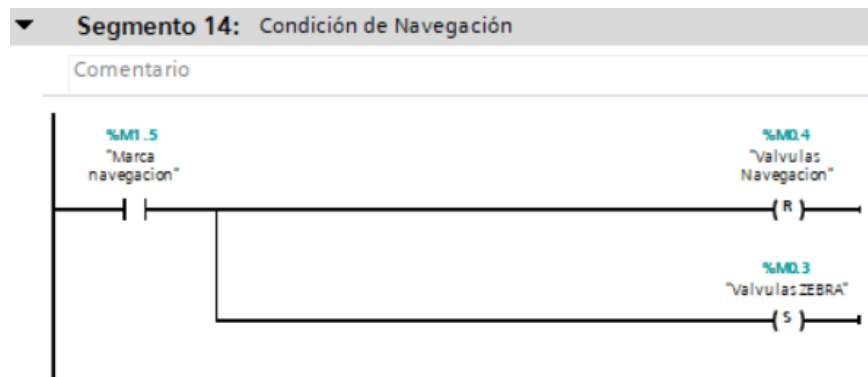
Imagen 34: Comprobación ZEBRA



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Con las válvulas adecuadas cerradas el sistema debe conectar los dos equipos de bombeo auxiliares a fin de que cada zona independiente disponga de un suministro de caudal, por otro lado cuando el sistema esté correctamente presurizado se activará la marca M2.1 que indicará una correcta operación del modo ZEBRA.

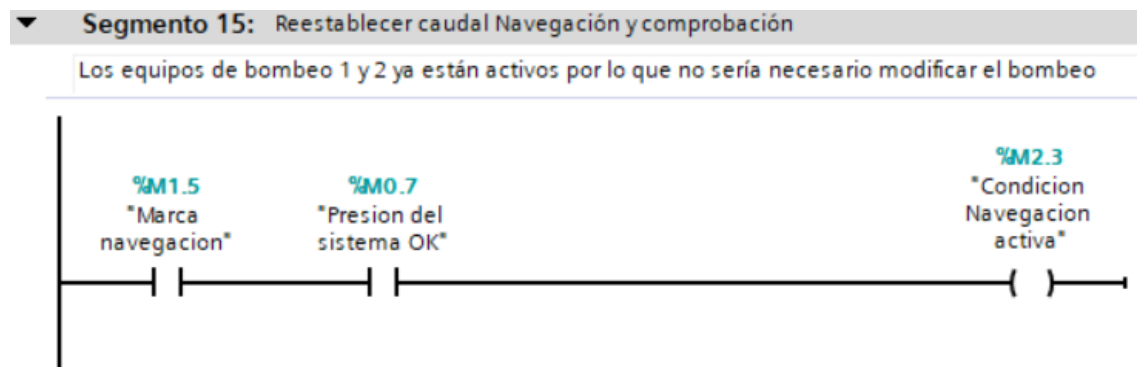
Imagen 35: Condición de navegación



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

La metodología es idéntica al caso anterior, la diferencia se encuentra en que en este caso las válvulas ZEBRA no deben cerrarse, por lo que se mantienen las bobinas con tensión.

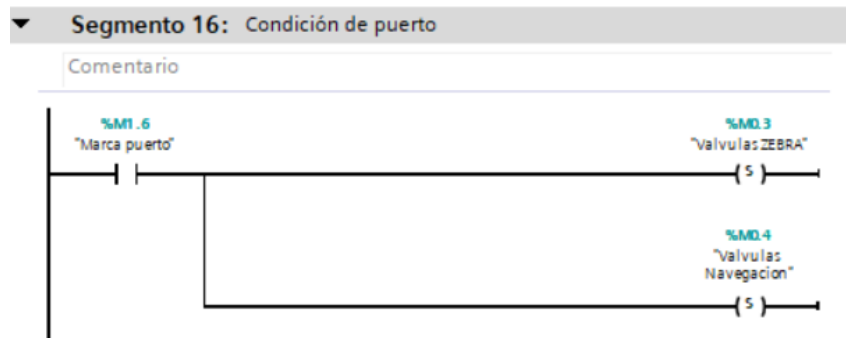
Imagen 36: Comprobación Navegación



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Debido a que en el modo de navegación el sistema queda segregado en dos zonas independientes, colector alto y colector bajo, no es necesaria la actuación sobre los equipos de bombeo auxiliares ya que cada zona contaría con un equipo ya conectado. De nuevo, una vez alcanzada la presión necesaria se activará la marca M2.3 que indicará una correcta operación del modo de Navegación.

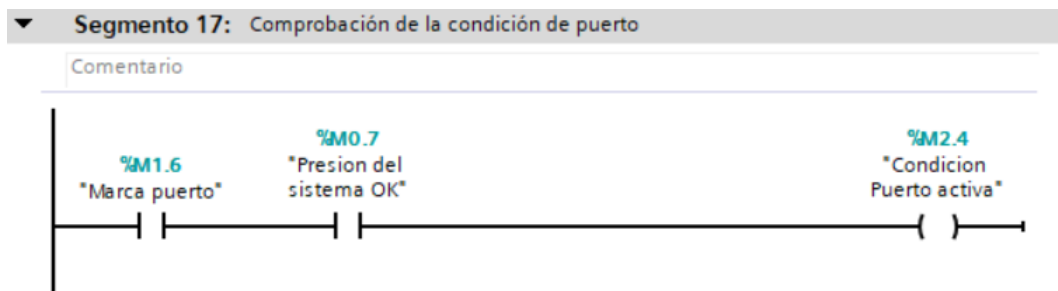
Imagen 37: Condición de Puerto



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Al seleccionar dicho modo de operación el programa abrirá todas las válvulas excepto la de descarga, en este modo al no existir ninguna segregación del sistema, no sería la operación de los equipos de bombeo auxiliares, sino que con los principales (ya conectados) sería suficiente para abastecer la totalidad del sistema.

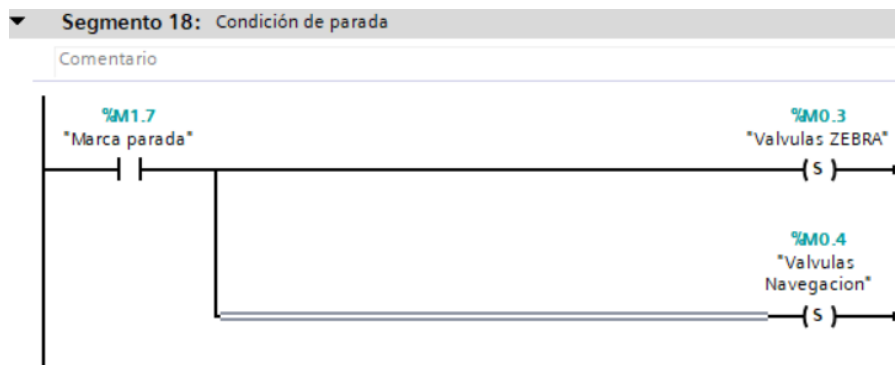
Imagen 38: Comprobación de Puerto



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

De nuevo, del mismo que ya se ha realizado anteriormente, el sistema comprobará los sensores de presión a fin de activar la marca que indica una correcta operación de la condición de Puerto.

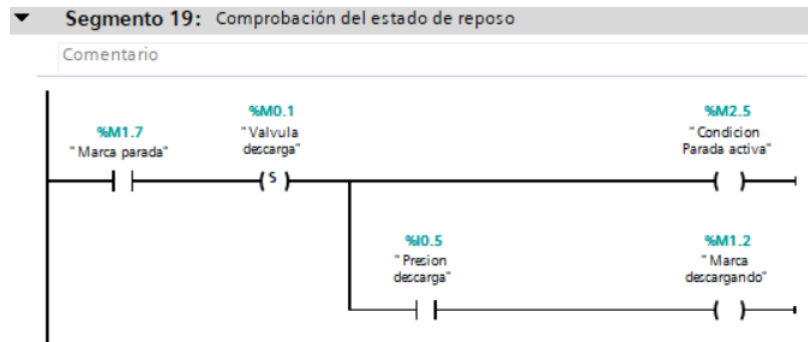
Imagen 39: Condición de Parada



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

La cuarta condición de operación está destinada al vaciado del sistema con su posterior desconexión. Debido a que su funcionamiento en caso de avería del sistema sería favorable, es la única condición de operación permitida durante el funcionamiento en modo "Avería", el tramo afectado seguiría aislado pero en este caso desconectaría y vaciaría empleado una ruta secundaria. En cuanto al modo de operación, abriría las válvulas excepto aquellas empleadas en la fase de aislamiento del tramo afectado y abriría la válvula de descarga.

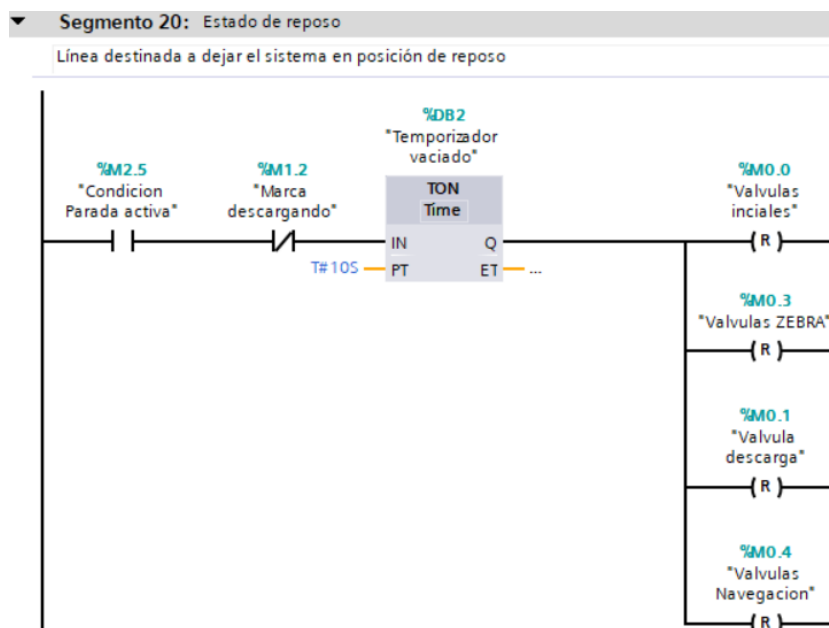
Imagen 40: Comprobación de parada



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Una vez más se controla el proceso, en este caso mediante el sensor de presión situado en el tramo final de la descarga, con esto sabremos si el sistema opera de forma correcta y con las marcas M2.5 – Condición parada activa, y la desactivación de M1.2 – Marca descargando, sabremos si el sistema ya ha finalizado la descarga.

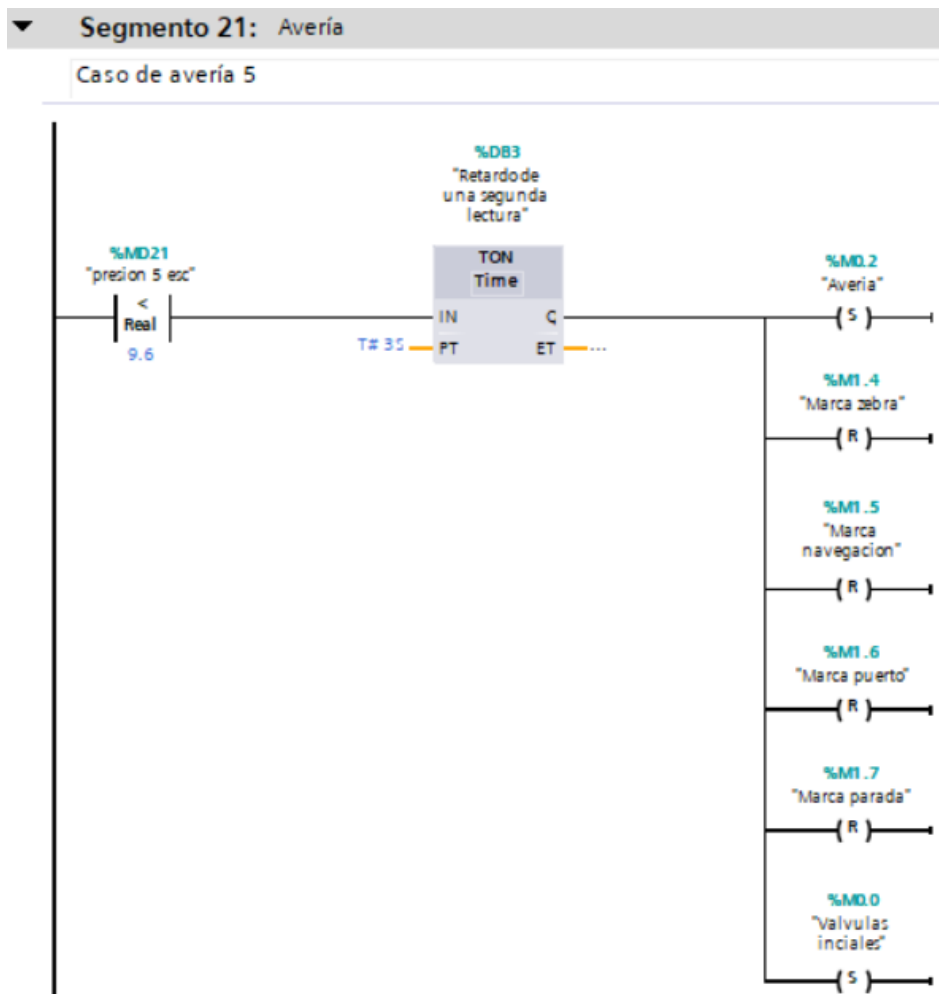
Imagen 41: Estado final de reposo tras la descarga



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Con la marca M2.5 activada, se mantiene la válvula de descarga abierta durante 10 segundos una vez haya dejado de fluir caudal por el tramo de descarga, tiempo estimado para acabar de drenar el sistema. Finalmente se busca dejar el sistema en un estado de reposo, por lo que se resetean todas las válvulas.

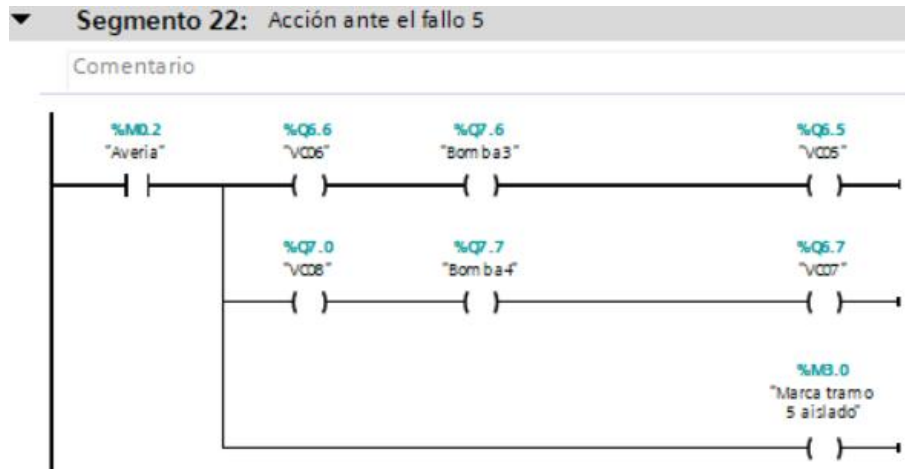
Imagen 42: Avería del sistema



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

El estado de avería deberá funcionar en cualquier modo de funcionamiento, esto se debe a que es un estado que busca la seguridad del sistema, entrará en funcionamiento cuando uno de los sensores de presión detecte una caída por debajo en este caso de 9,6 bares (valor calculado en apartados anteriores), una vez detectada la posible avería se realizará una segunda lectura transcurridos tres segundos para evitar valores atípicos. El primer paso consistirá en resetear todas aquellas válvulas que no sean necesarias a fin de tener el control de todas las válvulas necesarias.

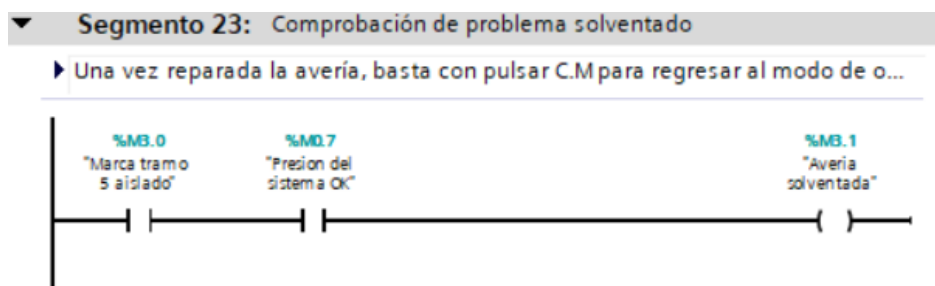
Imagen 43: Avería del sistema



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

En esta prueba se realiza el control de la avería del tramo 5, para ello se cierran las válvulas necesarias (segmentos anteriores) de forma que dicho tramo queda aislado, ante esto, el sistema no podrá suministrar caudal a dos de las zonas por lo que es necesaria la conexión de los equipos alternativos.

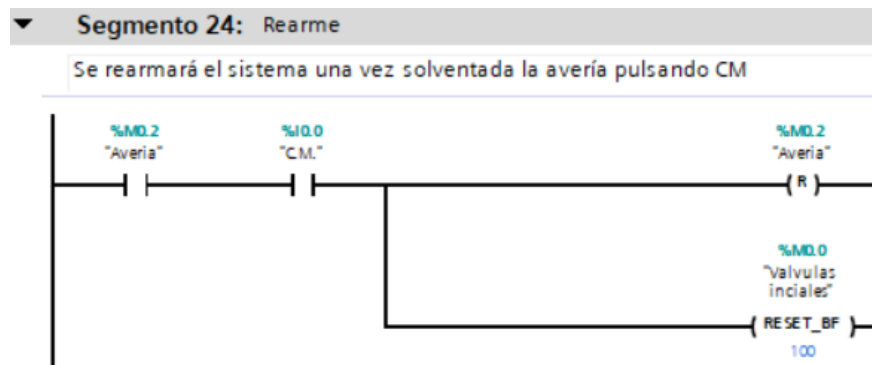
Imagen 44: Comprobación de la avería



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Una vez más se comprobarán las lecturas de presión activando una señal que indicará la correcta operación, en este caso indicará que la avería está contenida y se ha subsanado según el procedimiento preestablecido.

Imagen 45: Rearme del sistema



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Por último, bastaría con pulsar C.M. para deshacer todos los cambios realizados durante la avería y regresar al punto de partida del programa, si el sistema no ha sido vaciado en cuestión de milésimas de segundo volvería a estar operando según se haya marcado en el selector. En caso de no solucionarse la avería, automáticamente a los tres segundos el sistema estará de nuevo en modo avería. El último comando del programa se ha colocado para evitar que una vez se resetee el sistema pueda quedar alguna marca activa, pudiendo ocasionar una operación incorrecta, realizara una función de redundancia de seguridad.

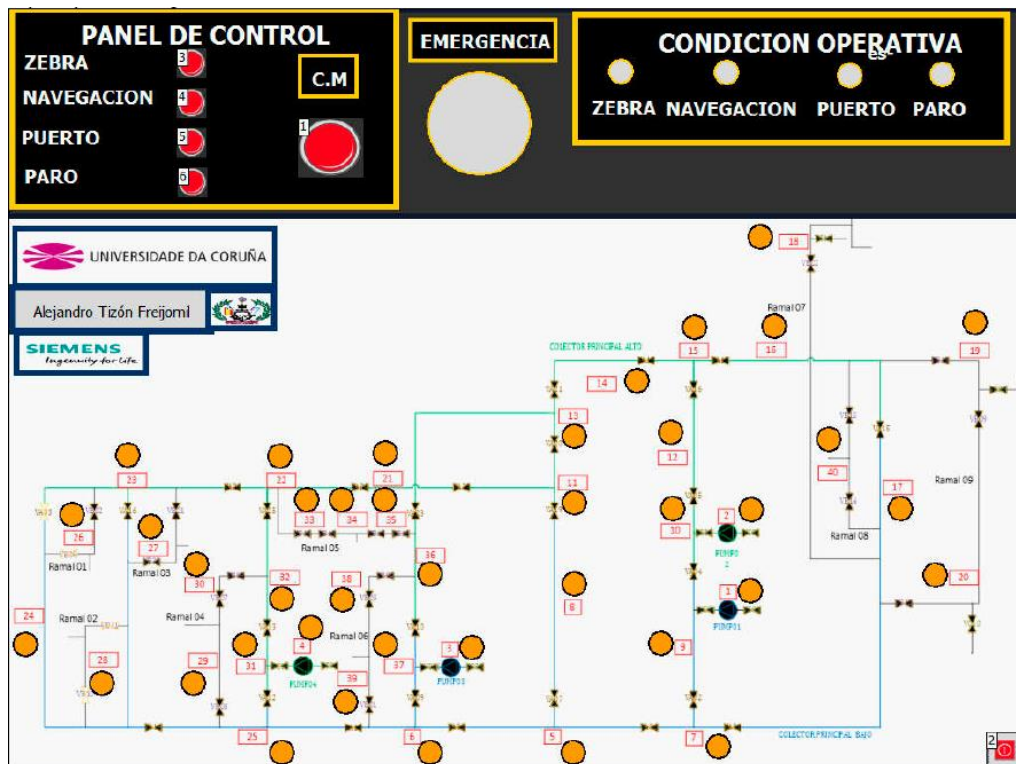
11.5 Cuadro de control y de estado integrado

Dado que se incluye como ANEXO el reporte de dicha imagen, únicamente se muestra el resultado final configurado de forma que se permite el control táctil del sistema mediante el HMI con solo mantener dicho equipo conectado a la red. La imagen muestra tanto la operación actual del buque como el estado de cada válvula, podría establecerse una serie de gráficos que muestran la presión actual del sistema pero se ha considerado que únicamente sería necesario activar una alarma para cada tramo evitando de esta forma un exceso de información. En la esquina superior izquierda se sitúan todos los pulsadores mediante los cuales se controlará el sistema, para ello se deberá pulsar en primer lugar C.M. y una vez el sistema esté presurizado, se pulsará activará una de las condiciones operativas mediante un pulsador o un selector, por otro lado, una vez dicha operación esté funcionando con normalidad se activará un indicador en la parte superior derecha. En caso de que algún tramo sufra una caída de presión a un nivel inferior al obtenido mediante el software "WaterCAD" se activará la alarma de avería, siendo esta un indicador que se encenderá en rojo de forma intermitente. Se inserta además un comando que finalizará la simulación o provocará la desconexión del HMI situado en la esquina inferior derecha.

Cada tramo llevará tendrá asociado un sensor de presión que dará la voz de alarma en caso de caída de presión, para ello además de la alarma principal se deberá encender el indicador del tramo afectado en la parte inferior del panel. En este caso se han insertado los indicadores de forma explicativa en color naranja debido a que el sistema se encuentra en reposo, dichos indicadores tendrán un tono verde en caso de una correcta lectura de presión, y un tono rojo en los casos contrarios.

También sería posible insertar indicadores para conocer la posición de las válvulas, en este caso se ha decidido prescindir de ellos ya que la activación de la salida no implica que la válvula se haya abierto, será la lectura de presión junto con los sensores Reed (sistema redundante independiente) los encargados de dar información fiable sobre la posición de las válvulas.

Imagen 46: Cuadro de visualización y control HMI



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

A continuación se muestran en detalle las diferentes partes que componen el panel.

Imagen 47: Panel de control



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Esta primera parte, alberga todos los pulsadores necesarios para el control del sistema, en la zona izquierda se encuentran los cuatro enclavamientos que se corresponderán con las cuatro opciones de operación posibles, más adelante se mostrarán los cambios en que incurre cada uno. Por otro parte, en la derecha se encuentra el pulsador de marcha que cumple con dos objetivos esenciales, por un lado permite el arranque del sistema partiendo de un estado de reposo, y por otro lado permite rearmar el sistema tras haber estado operando bajo una avería.

Debemos decir que una vez pulsado o activado un enclavamiento, este pasará a tener un color verde.

Imagen 48: Alarma de avería



Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

En la zona central superior se encuentra un indicador de avería, dicho indicador se encenderá en un color rojo intermitente siempre que el sistema esté funcionando en dicho modo, debemos recordar que el modo de avería se activará ante una caída de presión en cualquiera de los tramos o ante un desgaste excesivo o fallo de los equipos de bombeo. Una vez solventada la avería y pulsado C.M. dicho indicador volverá a desconectarse.

Imagen 49: Indicador de operación



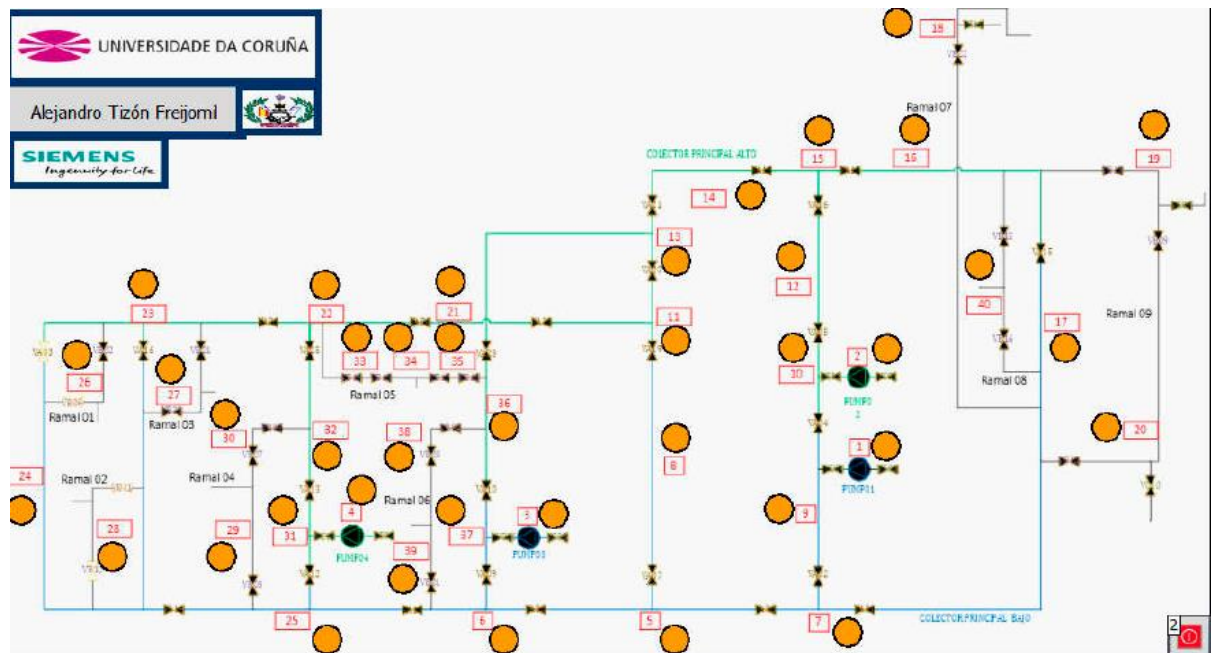
Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

En la zona superior derecha se encuentra la ventana que permite identificar el modo bajo el que se encuentra operando el sistema, dichos indicadores se activarán una vez se hayan producido los cambios necesarios y el caudal se haya reestablecido de forma que tras manipular el panel de control y se realicen los cambios en las válvulas pertinentes, bastará que se detecte la presión necesaria en cada punto para encender en tono verde el indicador correspondiente (la presencia de presión en ciertos puntos del sistema asegura una correcta operación, la metodología para el cálculo de dichos valores ha sido explicada en apartados anteriores).

En la esquina inferior derecha se ha insertado un pulsador que permite la finalización de la simulación.



Imagen 49: Visualización del sistema

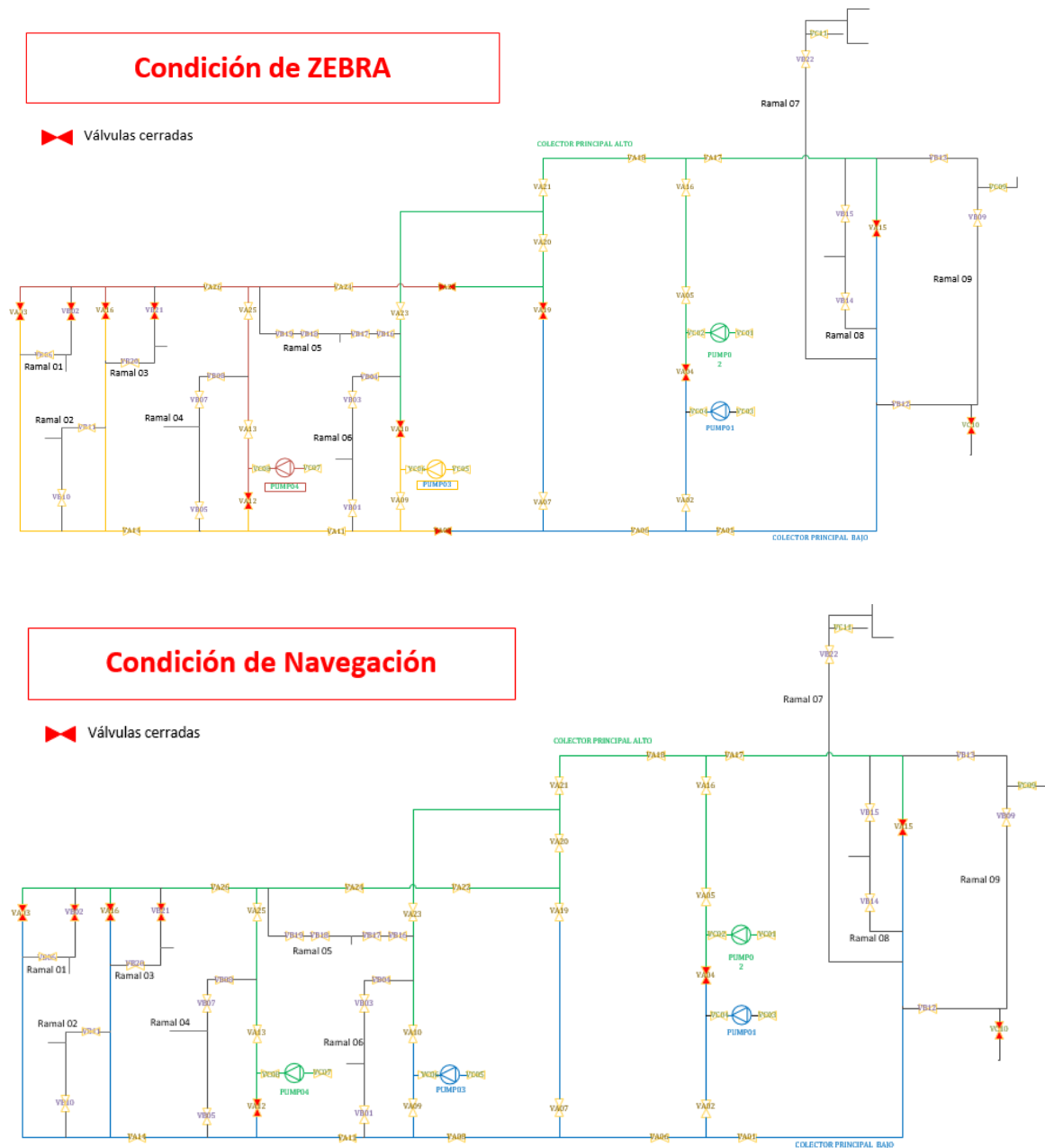


Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

Finalmente, en la zona inferior se muestra una vista global del sistema donde diferentes indicadores mostrarán aquellos puntos en los que la presión instantánea sea inferior a la calculada para dicho tramo. Esto permite a los operarios detectar que tramo o equipo se encuentra en mal estado. En este caso los indicadores al estar en modo reposo se encuentran en tono anaranjado, mientras que una vez operativo el sistema, se mostrarán en tono verde aquellos cuyos valores sean superiores a los valores de avería, y un tono rojo para el caso contrario.

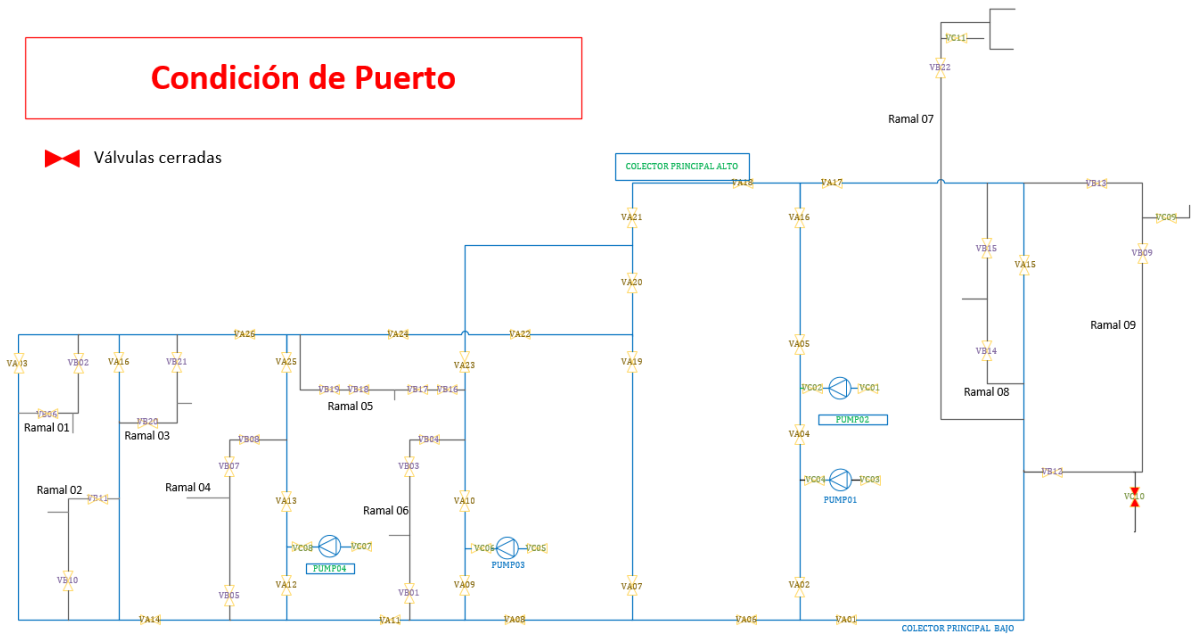
Se muestran a continuación las diferentes condiciones operativas vistas desde un punto de vista global, dichas imágenes muestran el aspecto que adquirirá el sistema según sea seleccionada la condición en el panel de control. Se han simplificado a fin de mostrar de forma clara las zonas independientes con colores, siendo cuatro colores en el caso del modo ZEBRA, dos en el caso de modo de Navegación y una en el caso de Puerto y Parada. Para identificar de forma clara a que colector pertenece cada equipo de bombeo, el color de la nomenclatura no ha sido modificado.

Imagen 50: Visualización de las diferentes condiciones de operación



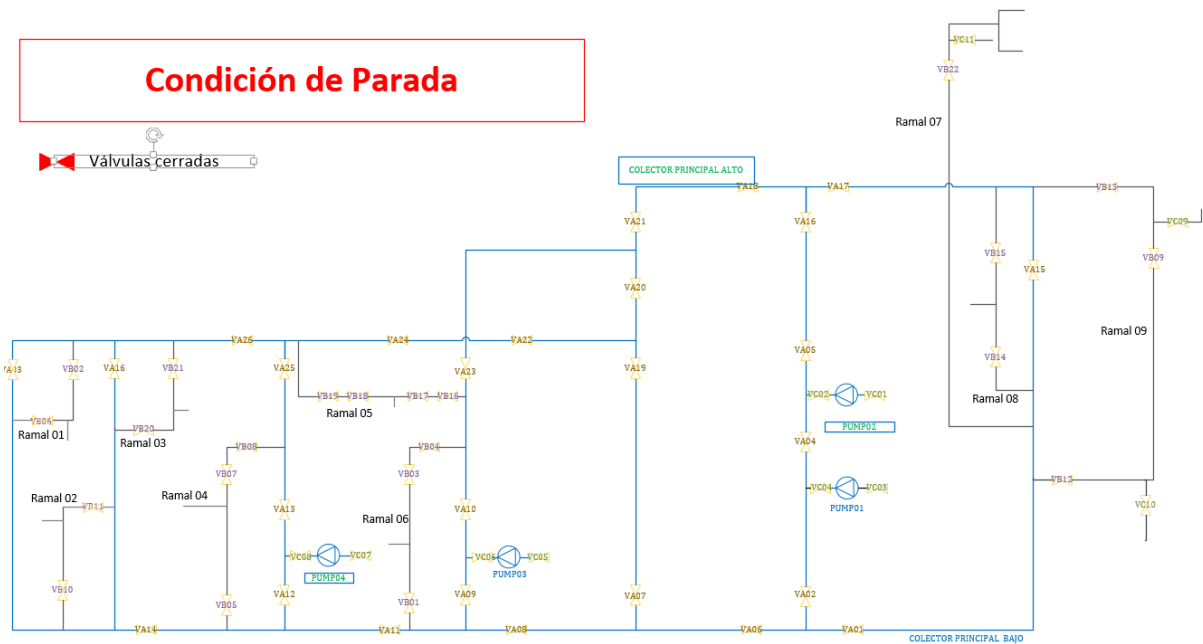
Condición de Puerto

◀ Válvulas cerradas



Condición de Parada

◀ Válvulas cerradas



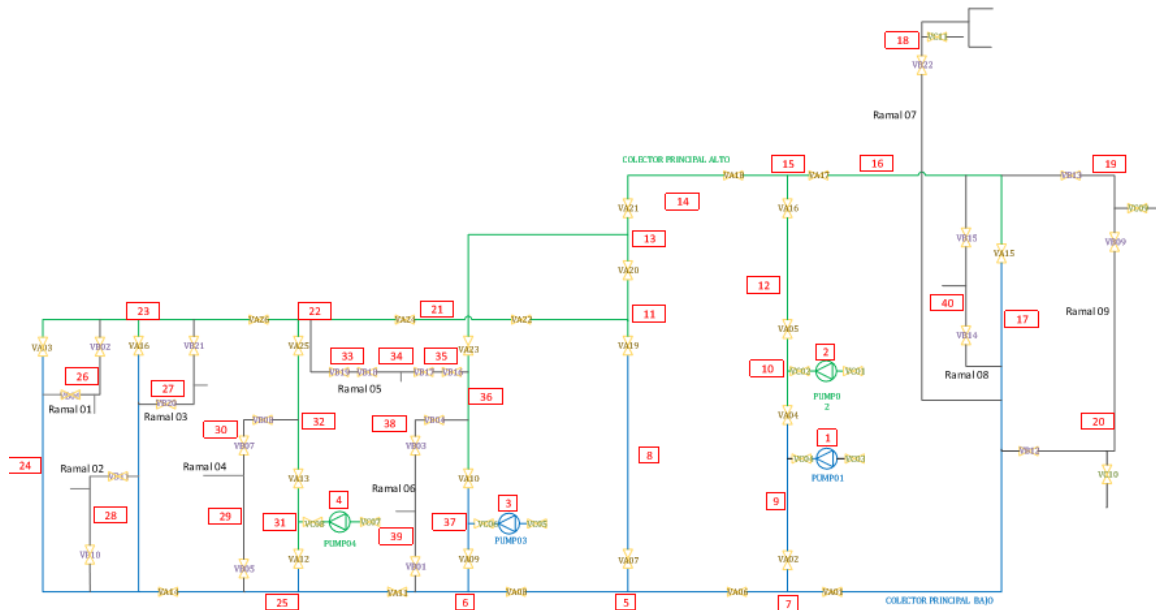
Fuente: Elaboración propia en base al report del programa TIA

12 PRESUPUESTO

Se analiza en el presente apartado el valor económico que supondría la implantación del sistema experto. Para ello en primer lugar se deberá analizar el número de entradas y salidas necesarias para conocer la cantidad de equipos necesarios.

Dado que todas las válvulas posicionadas sobre los ramales son manuales, se realizará un presupuesto teniendo en cuenta el reemplazo de las mismas por válvulas de mariposa automáticas.

Imagen 48: Situación de los modos de fallo



Fuente: Elaboración propia en base a la disposición general

12.1 Dimensionamiento

Número de entradas:

Se instalará un sensor de presión en cada tramo salvo para los tramos pertenecientes a las bombas donde a mayores se instalarán sensores de caudal y de vibración a fin de controlar que los equipos de bombeo operan con normalidad. Cada válvula implicará la instalación de dos sensores red a fin de conocer su posición real y obtener una redundancia de datos ya que mediante los valores de presión se logra conocer el estado real de las mismas.

Sensores en tramos con equipos de bombeo	= 3 x 4 tramos = 12 entradas lógicas
Sensores en el resto de tramos	= 1 x 36 tramos = 36 entradas lógicas
Sensores red	= 2 x 36 válvulas = 72 entradas lógicas

Total de entradas lógicas = **120**

Número de salidas:

Se tendrán en cuenta todas las válvulas automáticas así como los cuatro equipos de bombeo a fin de poder conectarlos o desconectarlos de la red de suministro según convenga. Se debe recordar que los indicadores de estado y las respectivas alarmas se representarán mediante el HMI por lo que no requieren de una salida lógica.

Equipos de bombeo	= 1 x 4 equipos = 4 salidas lógicas
Válvulas automáticas	= 1 x 36 válvulas = 36 salidas lógicas

Total de salidas lógicas = **40**

12.2 Equipos

➤ *Válvulas:*

Deberán sustituirse las siguientes válvulas de mariposa por válvulas accionadas por un motor eléctrico a fin de poder otorgarle al sistema experto el control completo de los equipos de bombeo y de los dos colectores en cualquier modo de fallo.

Tabla 4: Válvulas a sustituir según el control deseado

CONTROL DEL COLECTORES	
VA02	VC04
VA07	VC06
VC02	VC08

CONTROL TOTAL DEL SISTEMA					
VA02	VC04	VB02	VB06	VB10	VB11
VA07	VC06	VB16	VB17	VB18	VB19
VC02	VC08	VB20	VB21	VB01	VB03
VB04	VC10	VB12	VB09	VB13	VB14
VB15	VC09	VB22	VC11	VB05	VB07
VB08					

Fuente: Elaboración propia en base a la disposición general

En base a esto, y utilizando un diámetro nominal de 210 mm, se busca un valor aproximado por unidad en el mercado, poniéndonos en contacto con el personal de “Grupo Cuñado”.

Obteniendo un presupuesto aproximado de 500 euros / unidad:

Válvulas de compuerta motorizadas (colectores) = 6 unidades

Precio unitario = 500 euros /unid.



Total válvulas en los colectores = 3.000 euros

Válvulas de compuerta motorizadas máximo = 31 unidades

Precio unitario = 500 euros/unid.



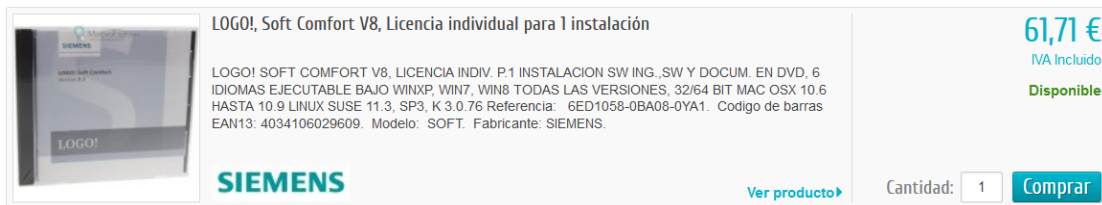
Total válvulas del sistema = 15.500 euros

➤ **PLC:**

En cuanto a la estimación de material necesario para poder controlar los colectores o la totalidad del sistema, se utilizará un PLC de última generación (8 entradas lógicas y 8 salidas lógicas). A continuación se muestran los datos relacionados.

Licencia software

Imagen 49: Presupuesto de licencia para TIA portal



LOGO!, Soft Comfort V8, Licencia individual para 1 instalación

LOGO! SOFT COMFORT V8, LICENCIA INDIV. P.1 INSTALACION SW ING., SW Y DOCUM. EN DVD. 6 IDIOMAS EJECUTABLE BAJO WINXP, WIN7, WIN8 TODAS LAS VERSIONES, 32/64 BIT MAC OSX 10.6 HASTA 10.9 LINUX SUSE 11.3, SP3, K 3.0.76 Referencia: 6ED1058-0BA08-0YA1. Código de barras EAN13: 4034106029609. Modelo: SOFT. Fabricante: SIEMENS.

SIEMENS

Ver producto ▶

Cantidad: **Comprar**

61,71 €
IVA Incluido
Disponibile

Fuente: Masvoltaje (2017)

Se tendrá en cuenta la necesidad de poder modificar el programa en caso de ser necesario, motivo por el cual es imprescindible la compra de al menos una licencia del software.

En este caso se ha decidido utilizar una versión moderna -SIMATIC S7-1200. Ha sido seleccionado por ser un sistema muy probado y utilizado en el mundo industrial. De todos los modelos disponibles, se ha elegido un modelo de gama media - alta a fin de obtener un valor medio. Entre las características más destacadas, dicho modelo permite la conexión y programación, permitiendo simulaciones durante el montaje sin necesidad de realiza un montaje con conexión directa. Permite un total de 400 bloques de comandos, suficientes para el rango estimado en dicho proyecto.

Imagen 50: Presupuesto PLC



SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU COMPACTA, AC/DC/RELES, E/S INTEGRADAS: 14 DI 24VDC, 10 DO RELES 2A, 2 AI 0 - 10V DC, ALIMENTACION: AC 85 - 264 V AC BEI 47 -63 HZ, MEMORIA DE PROGRAMA/DATOS 75 KB.

Referencia: 6ES7214-1BG31-0XB0.
Codigo de barras EAN13: 6940408101319.
Modelo: 14ED/10SD/2EA.
Fabricante: SIEMENS.
[Más detalles...](#)

SIEMENS

Tweet Compartir Google+ Pinterest

Escribe tu opinión

417,63 €
IVA Incluido
(345,15 € sin IVA)
Referencia: 6ES7214-1BG31-0XB0
Disponibilidad: Disponible

Cantidad: **Comprar**

Fuente: Masvoltaje (2017)

Cada PLC nos ofrece 8 entradas y salidas lógicas, por lo que el número de PLC necesarios nos lo indica el número de entradas:

Entradas lógicas = 120
Número de PLC necesarios = $120 / 8 = 15$ unidades

Total módulos = 15 unidades * 248.05 euros / unid. = 3.720,75 euros

➤ *HMI*

En ambos casos será preciso la utilización de una unidad HMI a fin de sustituir los cuadros de control, de estado y la necesidad de mantener conectado una CPU al sistema experto. Dicha unidad tendrá insertada una imagen definida a gusto del armador como la mostrada para el caso de aplicación mediante la cual se podrá interactuar con el sistema experto, implementando tantas imágenes, actuadores o controladores como sea necesario.

En este caso se ha optado por seleccionar un HMI de gama media capaz de cumplir por las necesidades previstas.

Imagen 51: Presupuesto panel HMI



SIMATIC TP700 Comfort Panel, Windows CE 6.0, display TFT panorámico de 7"

SIMATIC HMI TP700 COMFORT, COMFORT PANEL, OPERACION TACTIL, DISPLAY TFT WIDESCREEN DE 7", 16M DE COLORES, INTERFAZ PROFINET, INTERFAZ MPI/PROFIBUS DP, 12 MB DE MEMORIA DE CONFIG., WINDOWS CE 6.0, CONFIGURABLE CON WINCC V11 O SUPERIOR. Referencia: 6AV2124-0GC01-0AX0. Código de barras EAN13: 4025515079026. Modelo: SIMATIC TP700 COMFORT. Fabricante: SIEMENS.

1 056,33 €
IVA Incluido
Disponible

Ver producto ▶ Cantidad: 1 **Comprar**

Fuente: Masvoltaje (2017)

Unidades mínimas necesarias = 1 unidad

Precio total = 1056,33 euros

➤ *Sensorización:*

En ambos casos de estudio se deberán instalar el mismo número de sensores de presión como de vibración. Esto se debe a que el caso más económico también será capaz de monitorizar dichos valores. En cuanto a los equipos seleccionados, se han utilizado equipos similares a los instalados en proyectos paralelos.

Número de tramos = 40 tramos
Número de sensores de presión por tramo = 1 und. / Tramo
Precio unitario de sensores de presión = 73,90 eur
Total sensores de presión = 2.956 eur

Imagen 52: Presupuesto sensor de presión



Sensor de presión ifm electronic PT5412

Sensor de presión electrónico, 0...160 bar, conexión al proceso G1/4 A, salida analógica 4...20mA, protección IP67/IP69K, conector M12

73,90 EUR -22%
más impuestos más gastos de envío PVP: 94,80 EUR

Código artículo: 102560
 EAN: 4021179275934

Disponible inmediatamente
 Envío el siguiente día laborable.

1 Añadir a la cesta

Fuente: Automation (2017)

Número de bombas = 4 bombas

Precio unitario de sensor de vibraciones = 308,4 eur

Total sensores de vibraciones = 1.233,6 eur

Imagen 53: Presupuesto sensor de vibraciones

Sensor de vibraciones Monitran MTN/1185ICQ-25, 20 mA, -25°C a +90°C, 27 x 43 mm

Código RS 533-2396
 Fabricante: Monitran
 Nº ref. fabric: MTN/1185ICQ-25



Precio reducido



✓ 5 Disponible para entrega en 24/48 horas.

Antes 330,22 €
308,40 €
 Precio Unidad

unidades	Por unidad
1 +	308,40 €

Cantidad unidades Añadir a la cesta

Disponibilidad de stock Añadir a una lista de materiales

Documentación Técnica

- ✓ Estado RoHS: No aplica
- MTN/1185 User Manual
- Page 2 Baseefa Cert
- ATEX Cert 4
- ATEX Cert 2
- Page 3 Baseefa cert
- ATEX Cert 1

Fuente: RS-online (2017)

➤ *Sensores Reed:*

Se podrán instalarán dos sensores Reed adicionales por cada válvula a fin de conocer si la válvula se encuentra en posición abierta o cerrada y al mismo tiempo obtener una redundancia de seguridad ya que la activación de una debería implicar la negación de la otra. Se utilizarán de forma secundaria al programa a fin de corroborar los datos obtenidos.

Número de sensores	=	2 x 40	=	80	sensores red
Precio unitario con montaje			=	19	eur
Total sensores de vibraciones			=	1.520	eur

Consideraciones:

Para la realización de este apartado se ha supuesto una mano de obra en función del tiempo que se necesitado para implantar la línea adicional correspondiente al modo de fallo 5 teniendo en cuenta que el total obtenemos 40 casos diferentes. Por otro lado, se estima un total de 10 horas por cada caso.

Coste de mano de obra de programación:

$$\text{Horas} = 4 \text{ horas} / \text{modo de fallo} * 40 \text{ modos de fallo} = 160 \text{ horas}$$

$$\text{Coste Mano Obra} = 160 \text{ h} * 30 \text{ €/h} = \mathbf{4.800 \text{ €.}}$$

Coste de mano de obra de montaje:

$$\text{Horas} = 80 \text{ horas} / \text{modo de fallo} * 40 \text{ modos de fallo} = 320 \text{ horas}$$

$$\text{Coste Mano Obra} = 400 \text{ h} * 30 \text{ €/h} = \mathbf{9.600\text{€.}}$$

+ Se ha supuesto que el sistema se controlará desde el cuadro de control ya instalado en el buque y desde una única unidad HMI

+ Se ha tenido en cuenta que los sistemas informáticas tales como CPU ya se encuentran a bordo del buque

+ Se incrementarán en un 10 % los presupuestos debido a gastos de envío.

+ Se incrementará un 15 % el valor de los componentes totales debido a los accesorios de respeto que se llevarán a bordo.

12.3 Resumen

La siguiente tabla muestra la diferencia de presupuestos en caso e implantar el sistema, teniendo en cuenta que el sistema experto será capaz de controlar la totalidad del sistema.

Tabla 5: Resumen del presupuesto según el control sobre el sistema deseado

CONTROL TOTAL DEL SISTEMA		
Válvulas	15.500	EUR
Licencia	61,71	EUR
PLC	3.720,75	EUR
HMI	1.506,33	EUR
Sensorización	5.709,6	EUR
Mano de obra	14.400	EUR
Elementos de respeto	6.125,02	EUR
Gastos de envió	4.702,5	EUR
TOTAL	51.726	EUR

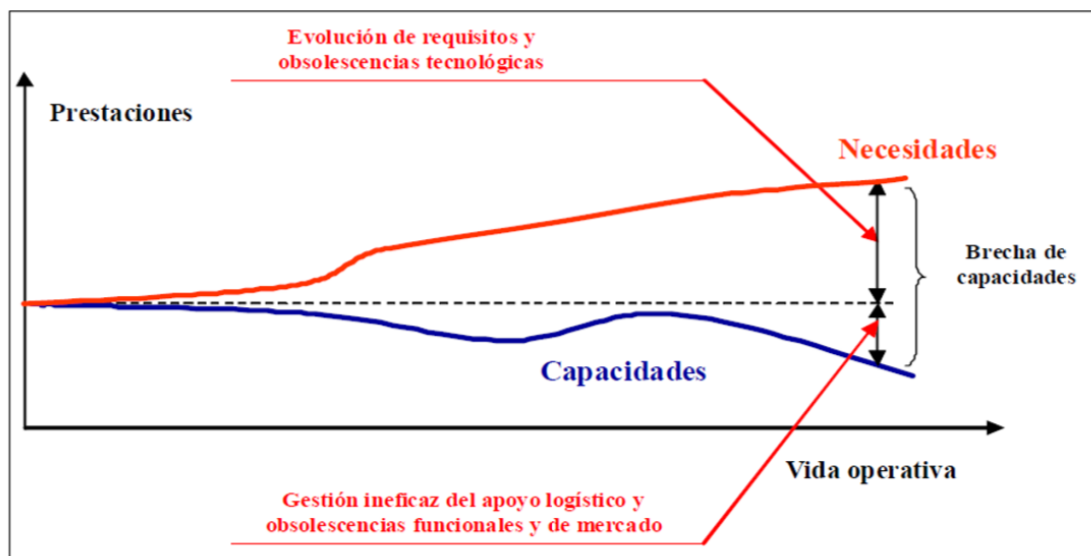
Fuente: Elaboración propia en base a los costes definidos

13 CONCLUSIONES

No es ningún secreto que los buques de índole militar son los que contienen la más moderna tecnología, permitiéndoles ser una referencia para la construcción de nuevos buques. Esto se debe en parte a la necesidad de dichos buques cumplir en todo momento aquellos objetivos para los cuales son construidos sin embargo dichos objetivos conforme aparecen nuevas tecnologías se van dinamizando mientras que los sistemas del buque no, es lo que se denomina “BRECHA DE CAPACIDADES”.

Los buques militares son buques muy complejos con gran cantidad de sistemas y equipos. Dichos elementos están en peligro constante de obsolescencia, sobre todo en la época en la que vivimos donde el desarrollo de nuevas tecnologías y el I+D de las industrias está siendo un factor clave. Antiguamente solo se trataba de mantener las capacidades operativas iniciales del buque durante su ciclo de vida pero en la actualidad no basta. En la siguiente imagen se muestra la evolución de la brecha de capacidades que se trata de vitar a medida que pasa el tiempo.

Imagen 54: Brecha de capacidades



Fuente: Compendio de apuntes de la materia “Apoyo logístico integrado”

Podemos observar como a lo largo del tiempo (vida operativa del buque), las prestaciones iniciales necesarias y las que realmente tiene el buque se van diferenciando. Por otro lado, debido a la gestión del apoyo logístico poco optimizado, mantenimientos inadecuados, una mala organización a nivel personal o la propia obsolescencia tanto a nivel funcional o nuevas tecnologías del mercado tanto en el software como en los propios equipos, las capacidades operativas del buque se van disminuyendo. Esto se resume en un ciclo de vida ineficaz en el apoyo logístico.

Es por esto que cobra mayor importancia el sistema experto al permitir no solo una mejora significativa del propio sistema, sino que es una modificación que permite la actualización del mismo durante el ciclo de vida del buque.

Entre otras mejoras se incluyen tanto la disminución de tareas repetitivas a realizar por los operarios como el control y supervisión del sistema permitiendo simplificar el mantenimiento basado en la condición del equipo.

Finalmente, otra ventaja significativa reside en el importante aumento de seguridad del sistema, factor imprescindible en buques militares. En este caso, en comparación con el valor del buque total, la implantación de este sistema experto en el sistema contraincendios no supone un desembolso mucho mayor, pero si debemos citar que el sistema podría ser extrapolable a sistemas similares como puede ser el sistema de agua refrigerada.

A fin de poder asegurar que el sistema experto podrá ser actualizado conforme al paso del tiempo, no solo se han hecho diferentes consultas a personal Técnico cualificado sino que se ha asistido a la presentación y evaluación de la nueva gama de autómatas programables S7 de Siemens. Esto ha permitido, verificar la idoneidad del PLC escogido para el sistema experto de este trabajo Fin de Master. No solo supera con creces las expectativas de rendimiento y capacidad de proceso requeridas sino que también permite la monitorización de consumos eléctricos, la conexión directa vía online para modificar el programa o el control del sistema desde múltiples puntos (como podría ser el puente de mando, el cuadro de control del sistema, el ordenador personal del capitán o la propia base naval del buque).

Por otro lado, en cuanto a los objetivos iniciales del proyecto, se han realizado un primer planteamiento de todos los posibles casos de avería del sistema, centrando el análisis en un tramo específico que se ha utilizado a lo largo del proyecto, al mismo tiempo que se realizan los cálculos pertinentes, se han explicado las metodologías utilizadas a fin de que partiendo del caso propuesto sea posible extrapolar las metodologías a las demás alternativas.

Se han llevado a cabo numerosos ensayos en el laboratorio de la universidad de forma que se pueda verificar tanto la viabilidad del proyecto como el funcionamiento del programa, finalmente se ha logrado obtener un programa capaz de supervisar el sistema y manipularse según sea necesario sea cual sea la condición operativa necesaria y en caso de avería, para ello se parte de la idea de que el sistema está desconectado y vacío.

Con esto se considera que se han cumplido los objetivos iniciales permitiendo al buque evadir la obsolescencia del sistema con un presupuesto mínimo respecto al coste del buque.

14 BIBLIOGRAFIA

- Automation. (2017). Sensores de presión. Disponible para consulta en:
http://www.automation24.es/sensores-de-proceso/sensor-de-presion-ifm-electronic-pt5412i1028440.htm?refID=adwords_shopping_ES&qclid=CjwKCAjwsqjKBRBtEiwAkWyN3zQKV5WeTwOi8NFyJy4D0IjhaDBVeM3K1M3veJt4DQC8NISTotBoCPKYQAvD_BwE
- Bombasa. (2017). Ficha técnica bomba. Disponible para consulta en:
<http://bombasa.com/files/mce/files/BOMBA-PANAMA-K-MONO.pdf>
- Bombasideal. (2017). Catálogos, vibraciones y caudales. Disponible para consulta en:
[http://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/catalogos/25-LIBRO%20HIDRAULICA%20\[D-020714\].pdfVIBRACIONES Y CAUDALES \(CAUDALES USANDO CURVAS \)](http://www.bombasideal.com/wp-content/uploads/catalogos/25-LIBRO%20HIDRAULICA%20[D-020714].pdfVIBRACIONES Y CAUDALES (CAUDALES USANDO CURVAS))
- Bombas y servicios. (2017). Vibraciones en bombas centrífugas. Disponible para consulta en:
<http://www.bombasy servicios.com.ar/detalle.php?a=vibraciones-en-bombas-centrifugas&t=3&d=141>
- Compendio de apuntes de la materia “Apoyo Logístico Integrado” del máster “Ingeniería naval y oceánica”
- Compendio de apuntes extraídos de la asistencia a la presentación de los nuevos PLC de Siemens.
- Dabpumps. (2017). Información bombas y válvulas. Disponible para consulta en:
<https://www.dabpumps.com/>
- Directindustry. (2017). Información Setas de emergencia. Disponible para consulta en:
http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/38087-2549713.jpg
- Gunt. (2017). Etapas del proceso de mezclado. Disponible para consulta en:
http://www.gunt.de/images/datasheet/1252/RT-800-Aplicacin-de-PLC-proceso-de-mezclado-gunt-1252-zeichnung_einzelheit_1.jpg

- Is2.ecplaza. (2017). Equipos siemens. Disponible para consulta en:
http://is2.ecplaza.com/ecplaza1/minisite_mains/d/da/dac/1711524824/main.jpg
- Masvoltaje. (2017). Catálogo siemens. Disponible para consulta en:
<http://masvoltaje.com/820-siemens-logo>
- NAVANTIA. (2008). Lista de materiales del documento técnico (NECORA)
- NAVANTIA. (2008). Esquema contraincendios
- rs-online. (2017). Sensores de vibración. Disponible para consulta en:
<http://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-vibracion/5332396/>
- Sensores Reed. (2017). Festo, sensores de posición. Disponible para consulta en:
https://www.festo.com/cat/es_es/products_34095
- Siemens. (2017). PLC. Disponible para consulta en:
<http://siemenslogo.com/que-es-un-siemens-logo/>
- Siemens. (2017). TIA v13. Disponible para consulta en:
<https://programacionsiemens.com/requisitos-de-tia-portal-v13/>
- Siemens. (2017). Catálogo siemens. Disponible para consulta en:
<http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/1314%20Mayo%20-%20OA%20Catalogo.pdf>
- Siemens. (2016). Manual de producto, PLC. Disponible para consulta en:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf
- Siemens. (2014). Manual de sistema, TIA v13. Disponible para consulta en:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/417/109054417/att_854702/v1/STEP_7_Basic_V13_1_esES-es-ES.pdf
- Sure Flow equipment. (2017). Check Valves, pressure loss. Disponible para consulta en:
http://www.sureflowequipment.com/check_valves/page10.cfm

NORMATIVA:

- SOLAS

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/inspecciones/lec4.pdf>

1. IEC 60617-12:1997 Graphical symbols for diagrams - Part 12: Binary logic elements.
2. IEC 60848:2013 GRAFCET specification language for sequential function charts.
3. IEC 61131-1:2003 Programmable controllers - Part 1: General information.
4. IEC 61131-2:2007 Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests.
5. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages.
6. IEC TR 61131-4:2004 Programmable controllers - Part 4: User guidelines.
7. IEC 61131-5:2000 Programmable controllers - Part 5: Communications.
8. IEC 61131-6:2012 Programmable controllers - Part 6: Functional safety.
9. IEC 61131-7:2000 Programmable controllers - Part 7: Fuzzy control programming.
10. IEC TR 61131-8:2003 Programmable controllers - Part 8: Guidelines for the application and implementation of programming languages.
11. IEC 61131-9:2013 Programmable controllers - Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI).
12. ISO 6403:1988 Hydraulic fluid power -- Valves controlling flow and pressure -- Test methods.
13. 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.
14. ISO 1219-2:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 2: Circuit diagrams.
55. ISO 4413:2010 Hydraulic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components.
16. ISO 4414:2010 Pneumatic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components.
17. ISO 20898:2008 Industrial trucks -- Electrical requirements.
18. SO 13849-1:2006 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design.
19. ISO 13849-1:2006/Cor 1:2009.

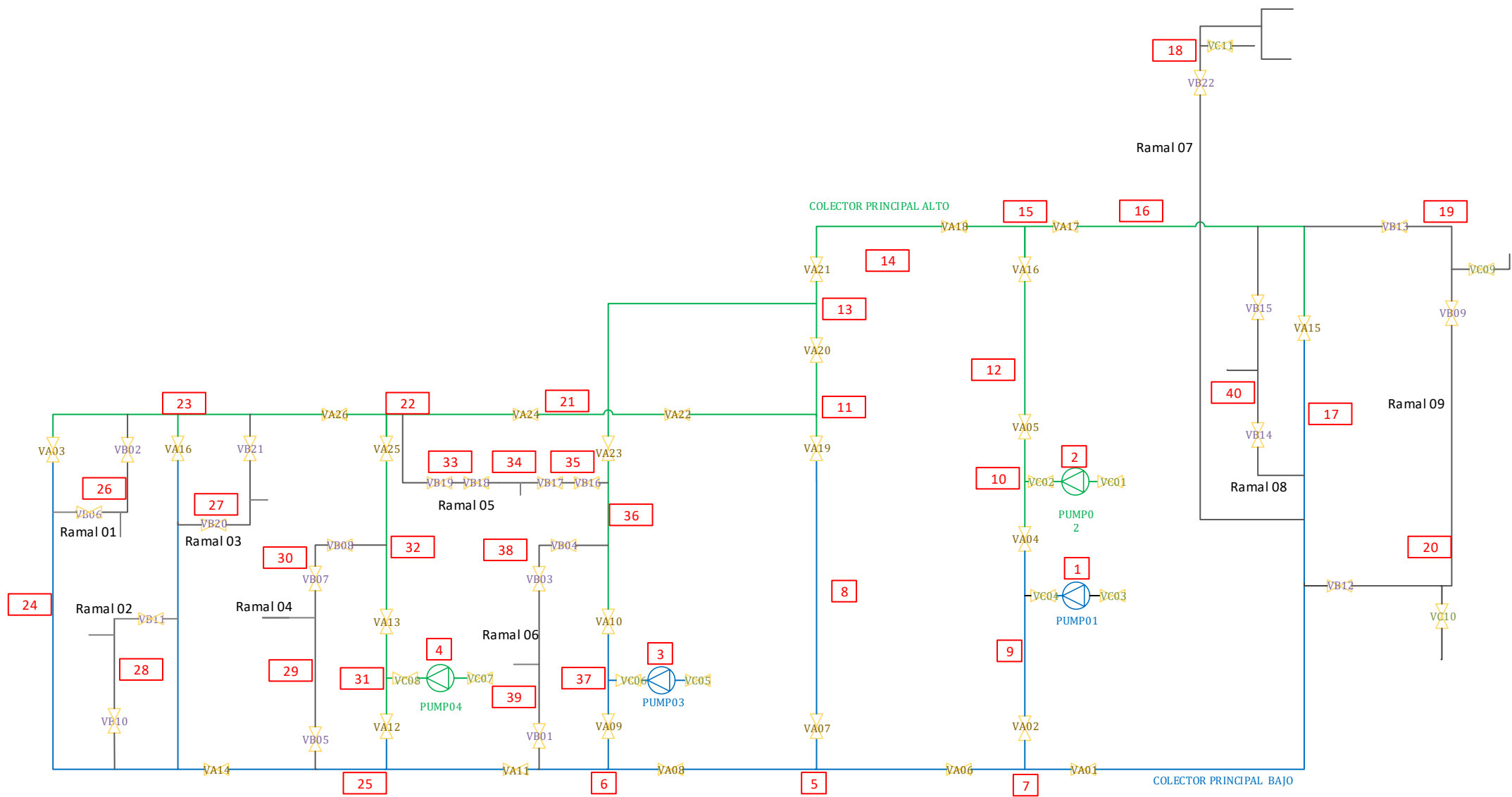
20. ISO 13849-2:2012 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 2: Validation.
21. ISO/TR 14121-2:2012 Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 2: Practical guidance and examples of methods.
22. ISO/TR 17529:2014 Machine tools -- Practical guidance and example of risk assessment on electro-discharge machines.
23. ISO/TR 22100-1:2015 Safety of machinery ISO 12100:2010 Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction.
24. ISO/TR 22100-2:2013 Safety of machinery -- Relationship with ISO 12100 -- Part 2: How ISO 12100 relates to ISO 13849-1.
25. EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
26. EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
27. UNE 101-149-86 "Transmisiones hidráulicas y neumáticas. Símbolos gráficos".
28. EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
29. EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
30. UNE-EN 60204-1:2007/A1:2009 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
31. UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).
32. UNE-EN 60204-1:2007 CORR:2010 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
33. UNE-EN 60947-1:2008 Aparata de baja tensión. Parte 1: Reglas generales.
34. UNE-EN 60947-2:2007 Aparata de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos. (IEC 60947-2:2006).
35. UNE-EN 60947-3/A1:2002 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
36. UNE-EN 60947-3:2000 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
37. UNE-EN 60947-3:2000/A2:2006 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.









38. UNE-EN 60947-3:2009 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
39. UNE-EN 60947-4-1/A1:2003 Aparata de baja tensión. Parte 4-1: Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos.
40. UNE-EN 60947-4-3:2002/A1:2007 Aparata 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).
41. UNE-EN 60947-5-1:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
42. UNE-EN 60947-5-1:2005/A1:2009 Aparata de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
43. UNE-EN 60947-5-2/A1:2000 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
44. 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.
45. UNE-EN 60947-5-2:2000/A2:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
46. UNE-EN 60947-5-2:2002 ERRATUM Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
47. UNE-EN 60947-5-2:2008 Aparata de baja tensión. Parte 5-2: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad.
48. UNE-EN 60947-5-3:2000 Aparata 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).
49. UNE-EN 60947-5-3:2000/A1:2006 Aparata 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).
40. 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
41. 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.

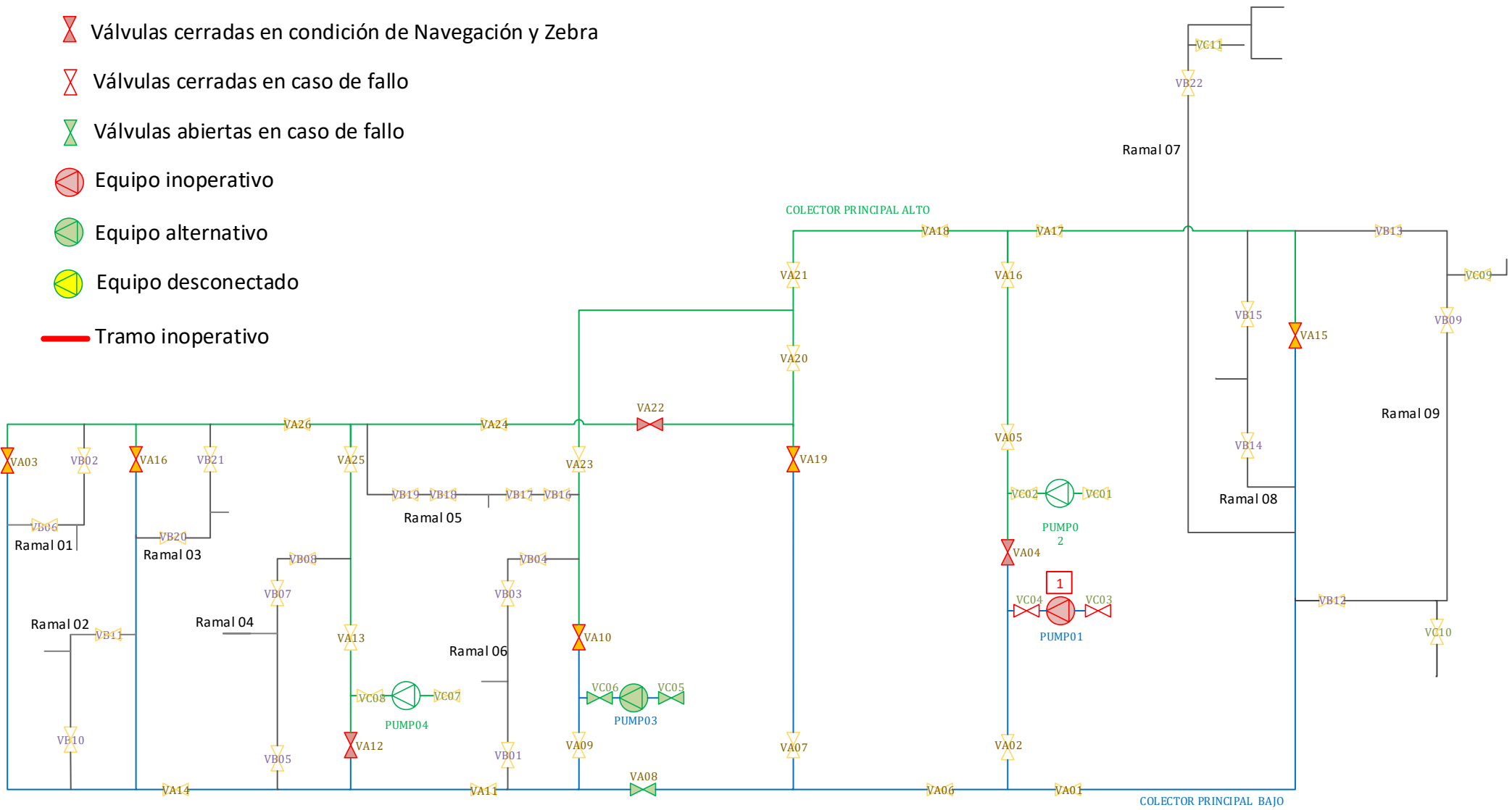
42. UNE-EN 60947-5-5:1999/A1:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Dispositivos de parada de emergencia eléctrica con enclavamiento mecánico.
43. UNE-EN 60947-5-6:2001 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-6: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interfaz de corriente continua para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (NAMUR).
44. UNE-EN 60947-5-7:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-7: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para detectores de proximidad con salida analógica.
45. UNE-EN 60947-5-8:2007 Aparamenta 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).
46. UNE-EN 60947-5-9:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-9: Aparatos de control de circuitos y elementos de conmutación. Detectores de caudal.
47. UNE-EN 60947-6-1:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-1: Equipos de funciones múltiples. Equipos de conexión de transferencia automática (IEC 60947-6-1:2005)
48. UNE-EN 60947-6-2:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-2: Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP).
49. UNE-EN 60947-6-2:2005/A1:2008 Aparamenta 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).
50. UNE-EN 60947-7-1:2003 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.
51. UNE-EN 60947-7-1:2003 ERRATUM:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.
52. 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.
53. 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.
54. UNE-EN 60947-7-3:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-3: Equipos auxiliares. Requisitos de seguridad para bloques de conexión fusibles.
55. VDI 3260 Funktionsdiagramme von Arbeitsmaschinen und Fertigungsanlagen.
56. VDI/VDE 3684 "Manufacturer-independent configuration of drive systems - Description of event-driven motion processes with functional diagrams".





15 ANEXO I


Análisis de alternativas





-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo




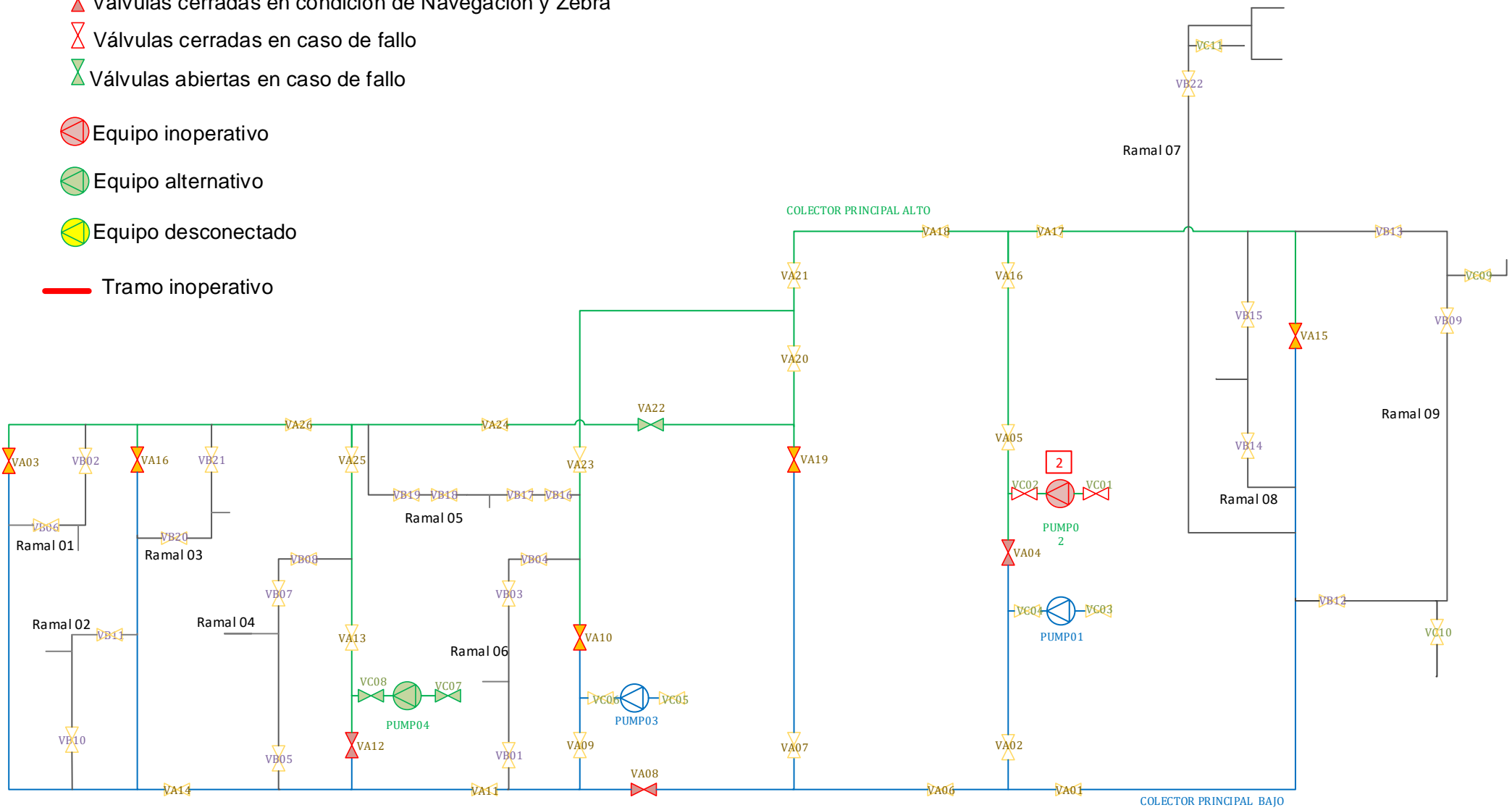
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo





 Equipo inoperativo


 Equipo alternativo


 Equipo desconectado


 Tramo inoperativo




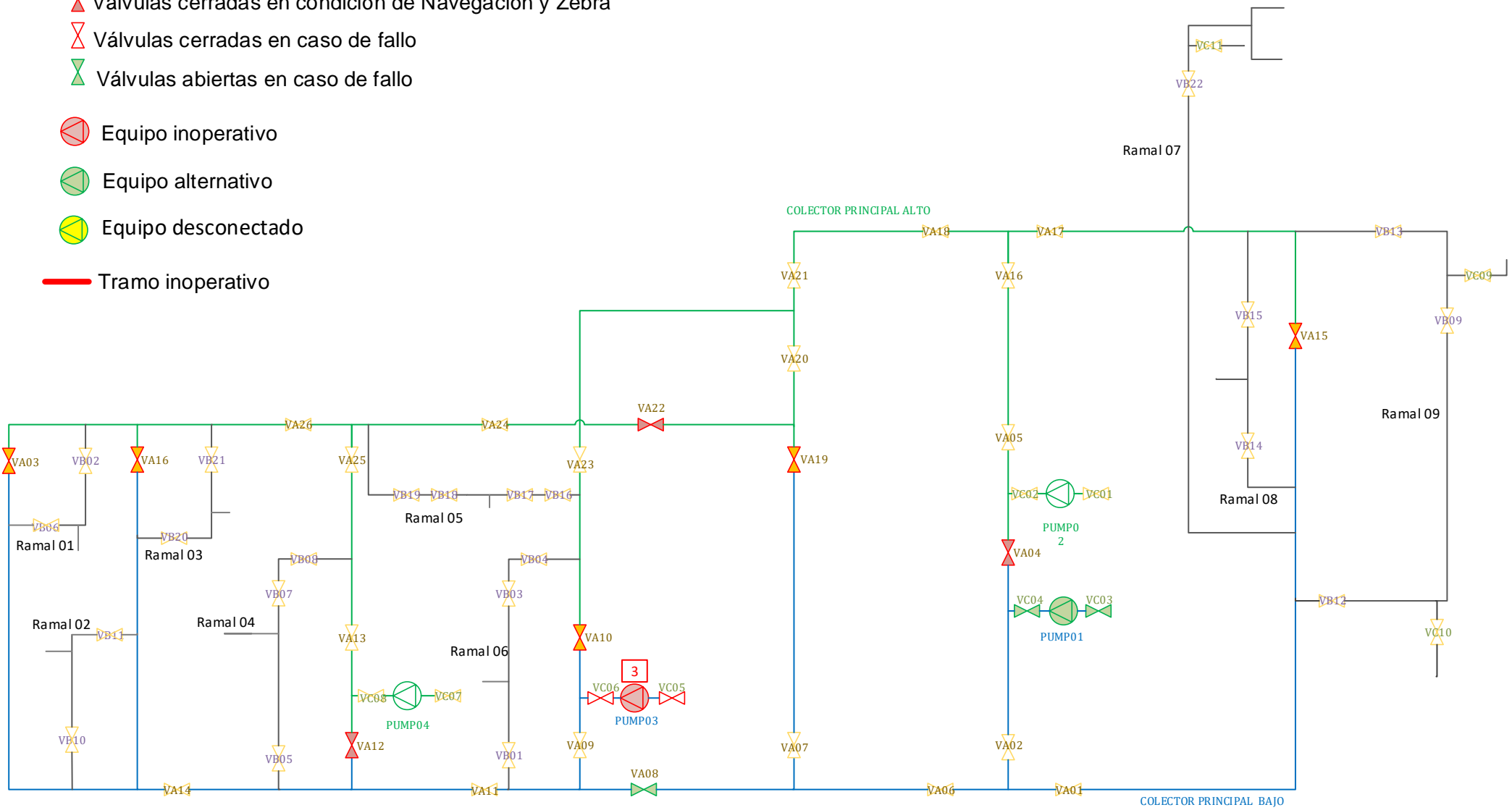
-  Válvulas cerradas en condición Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo









 Equipo inoperativo

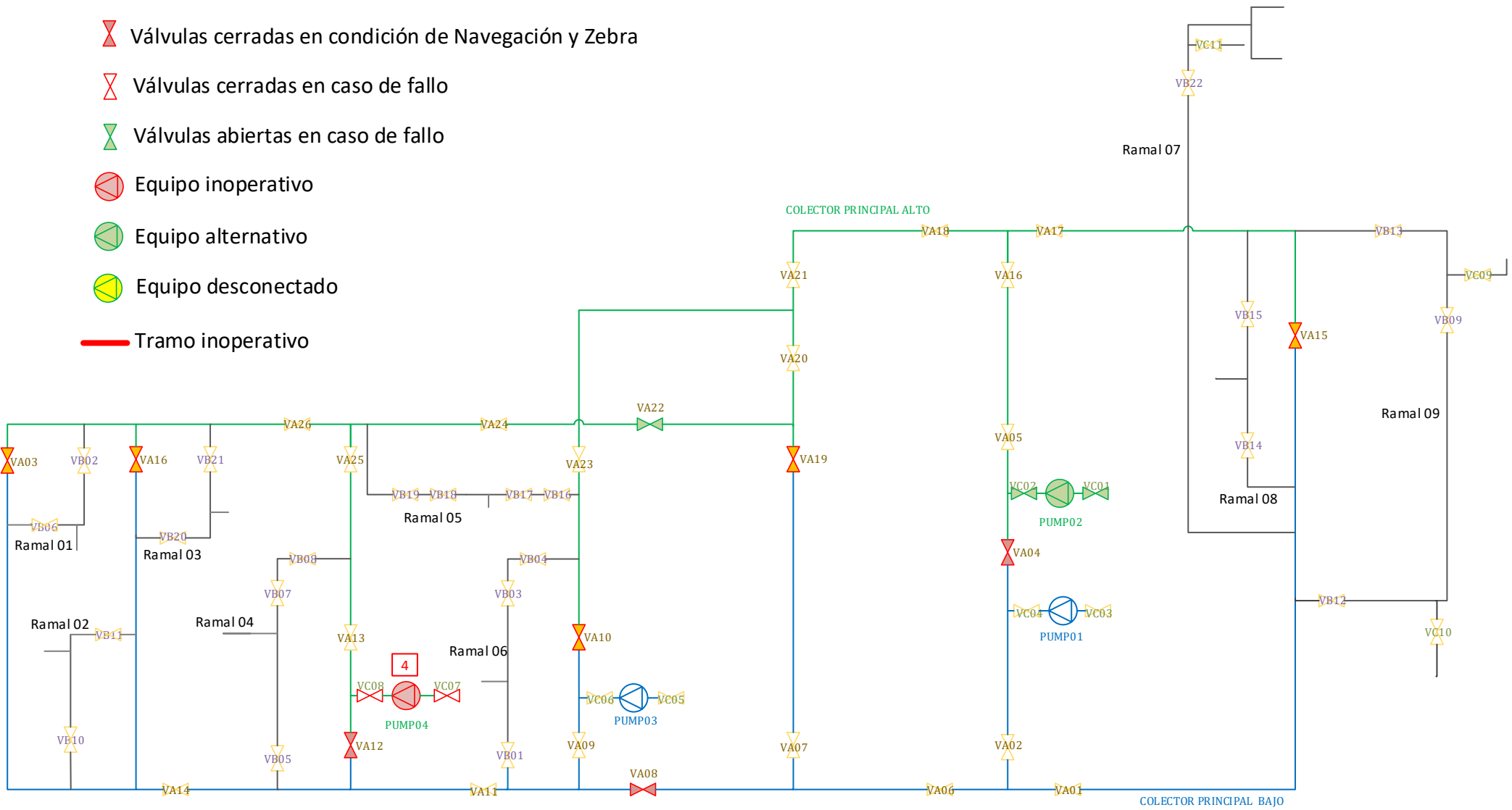
 Equipo alternativo








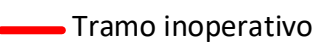
 Equipo desconectado

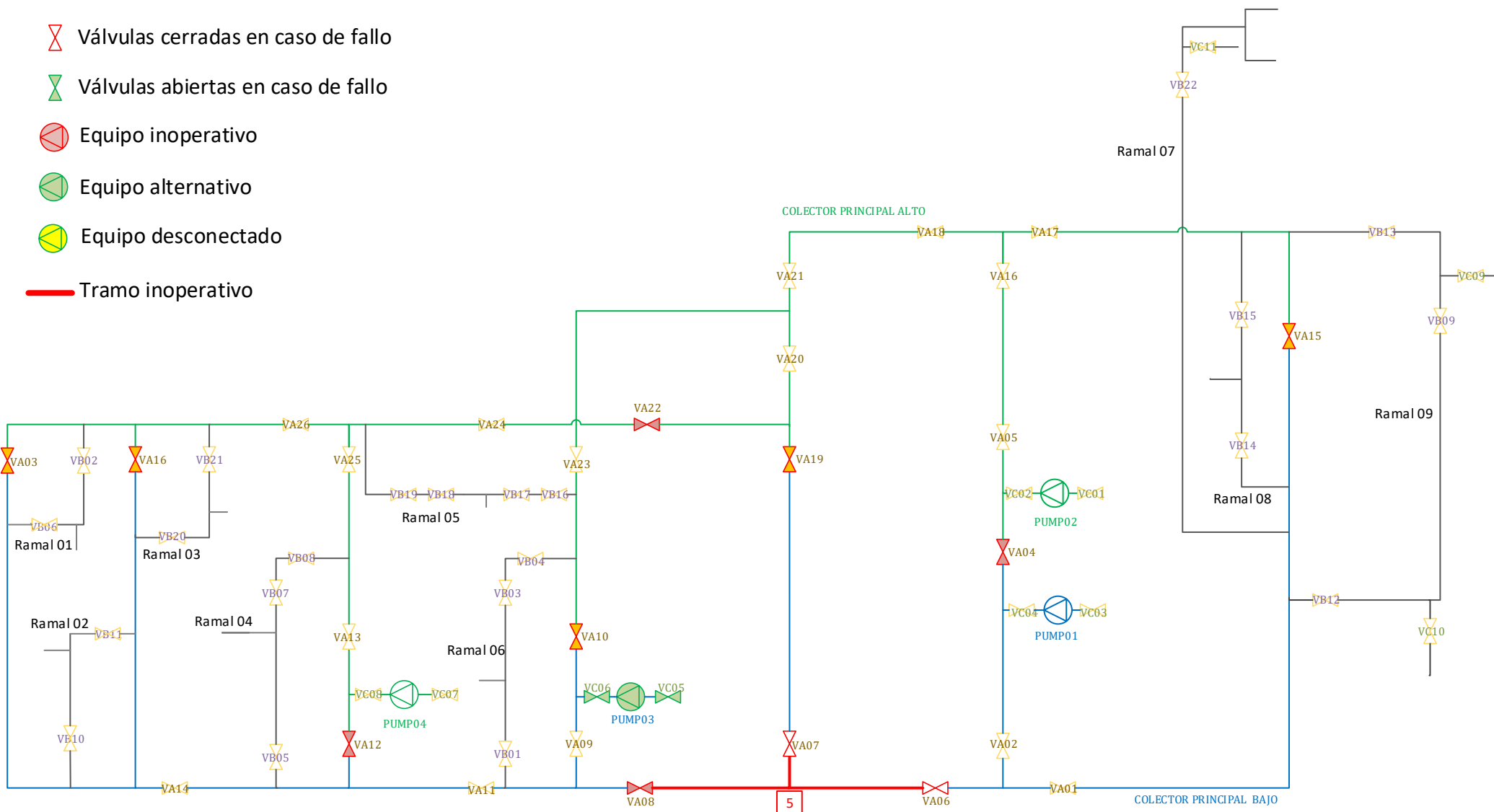
 Tramo inoperativo



-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo



-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo



✘ Válvulas cerradas en condición de Navegación
✘ Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra

✘ Válvulas cerradas en caso de fallo

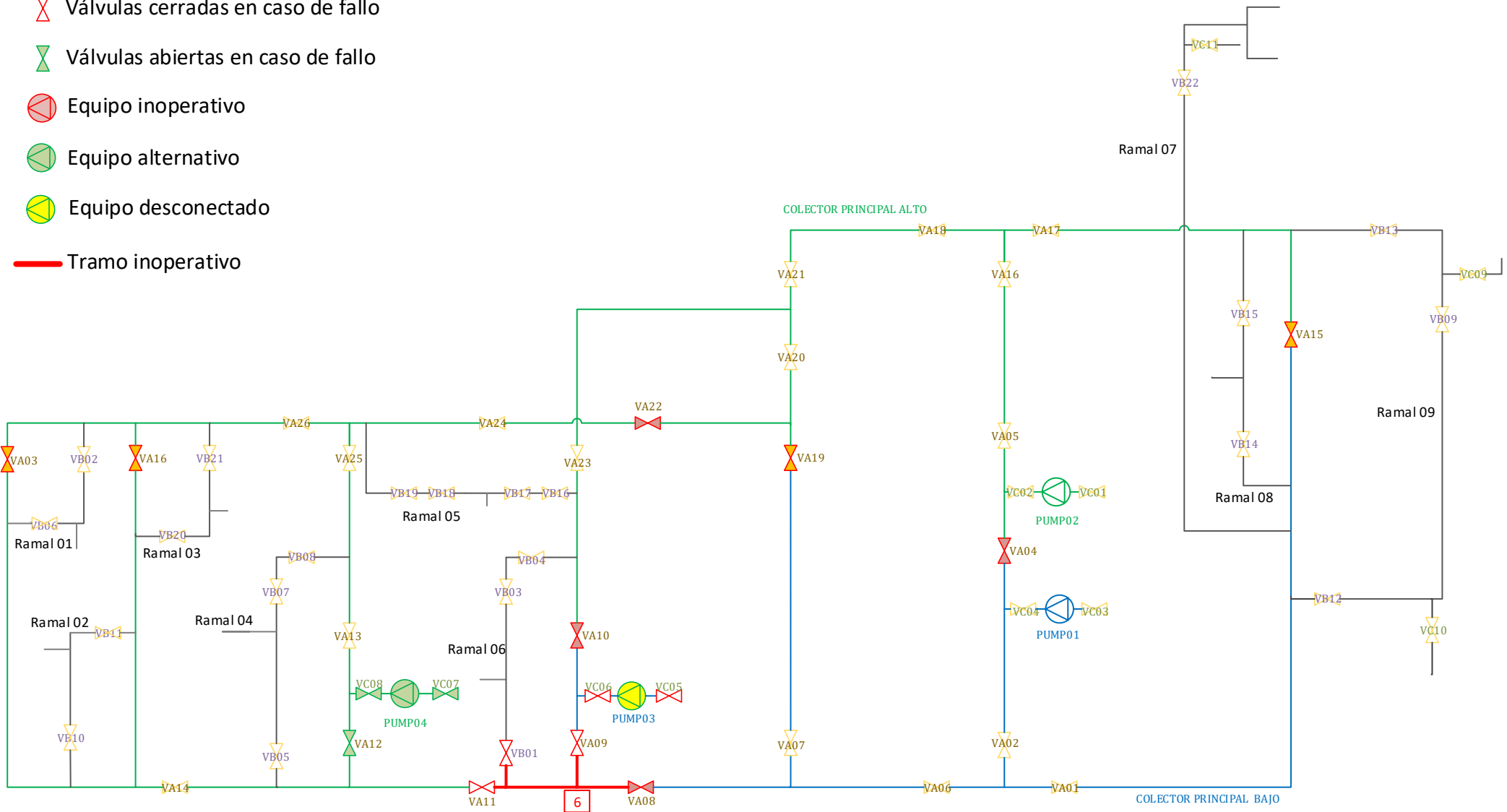
✘ Válvulas abiertas en caso de fallo









⊖ Equipo inoperativo

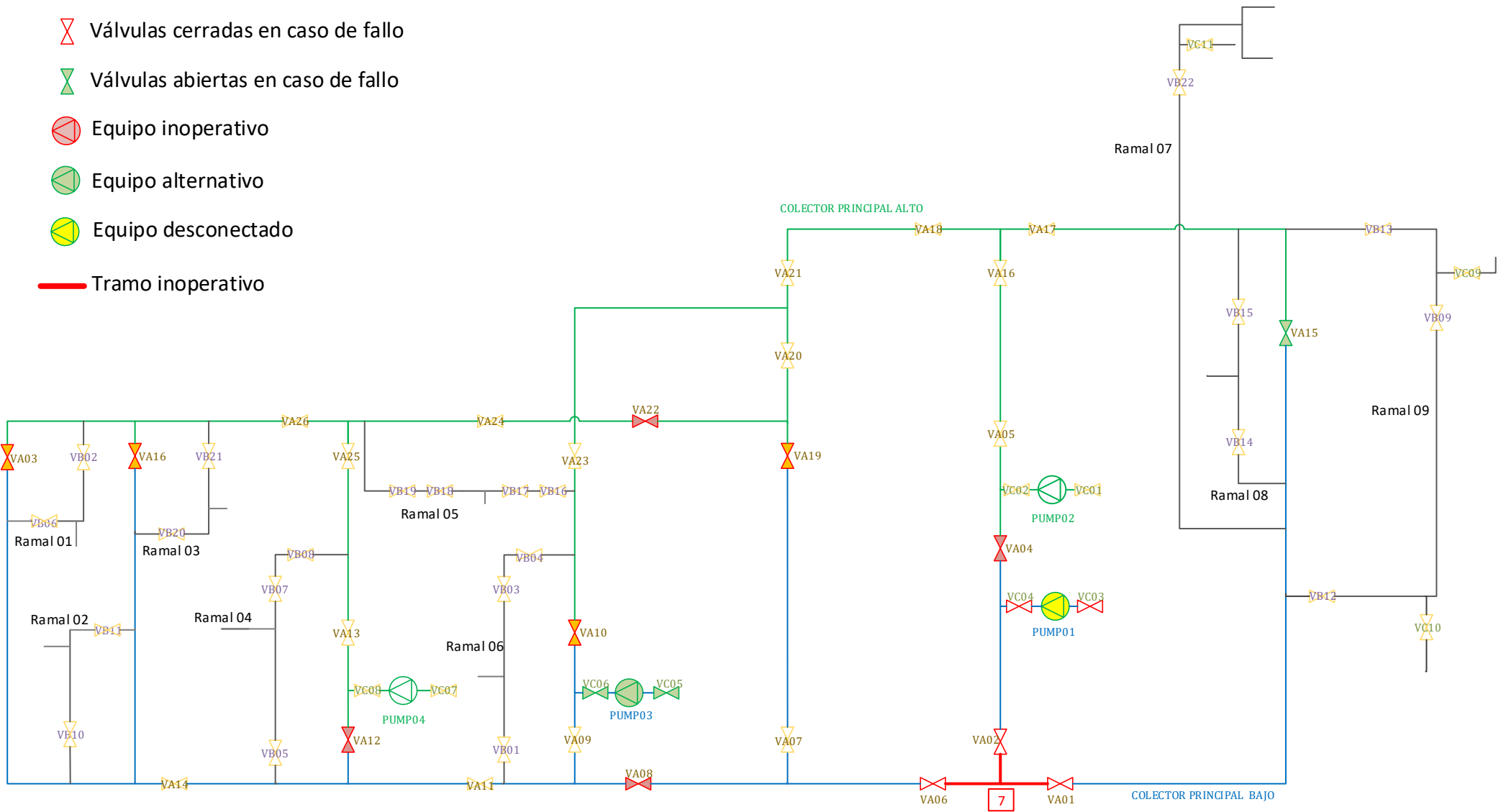
⊖ Equipo alternativo









⊖ Equipo desconectado

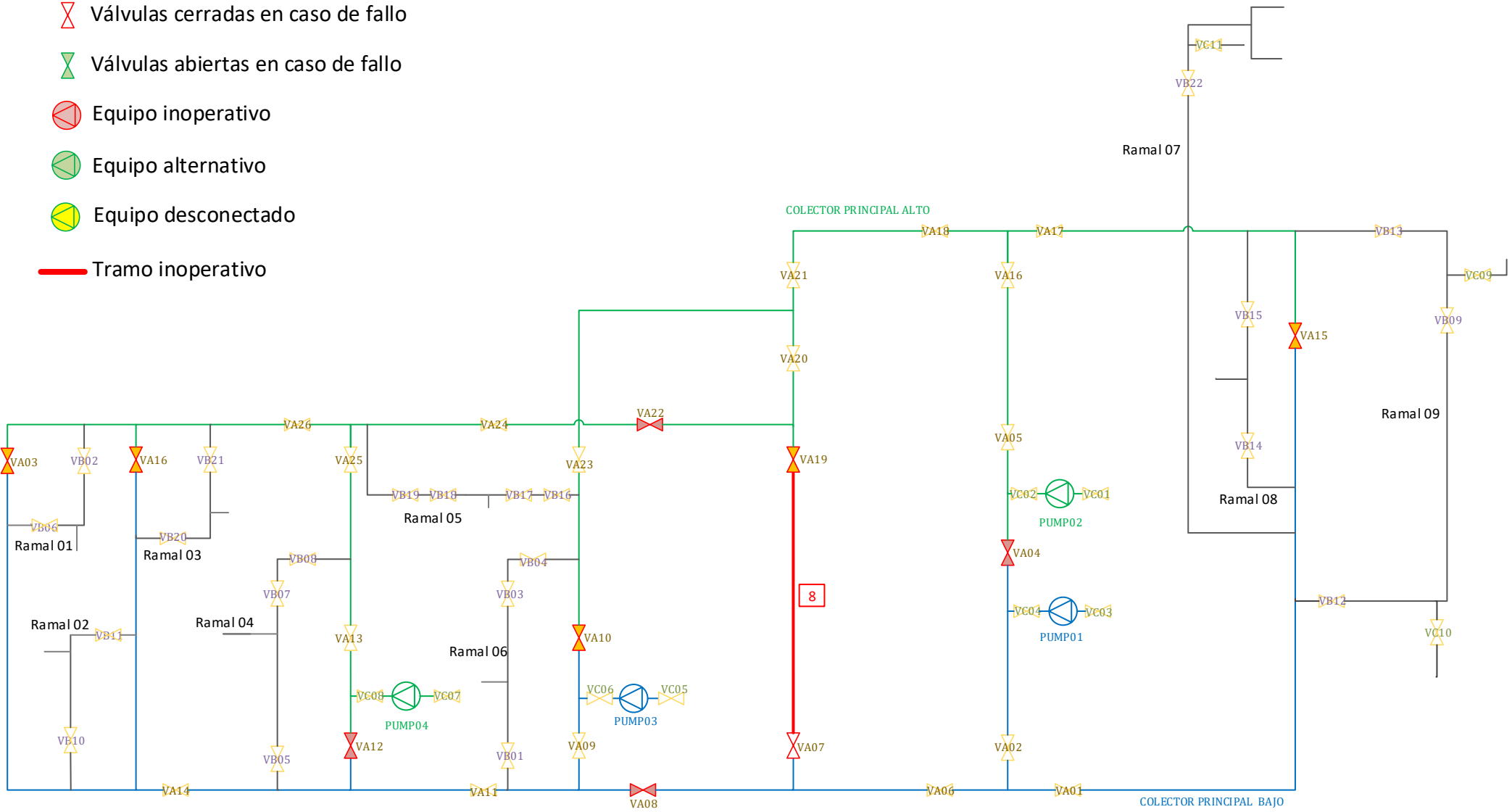
— Tramo inoperativo










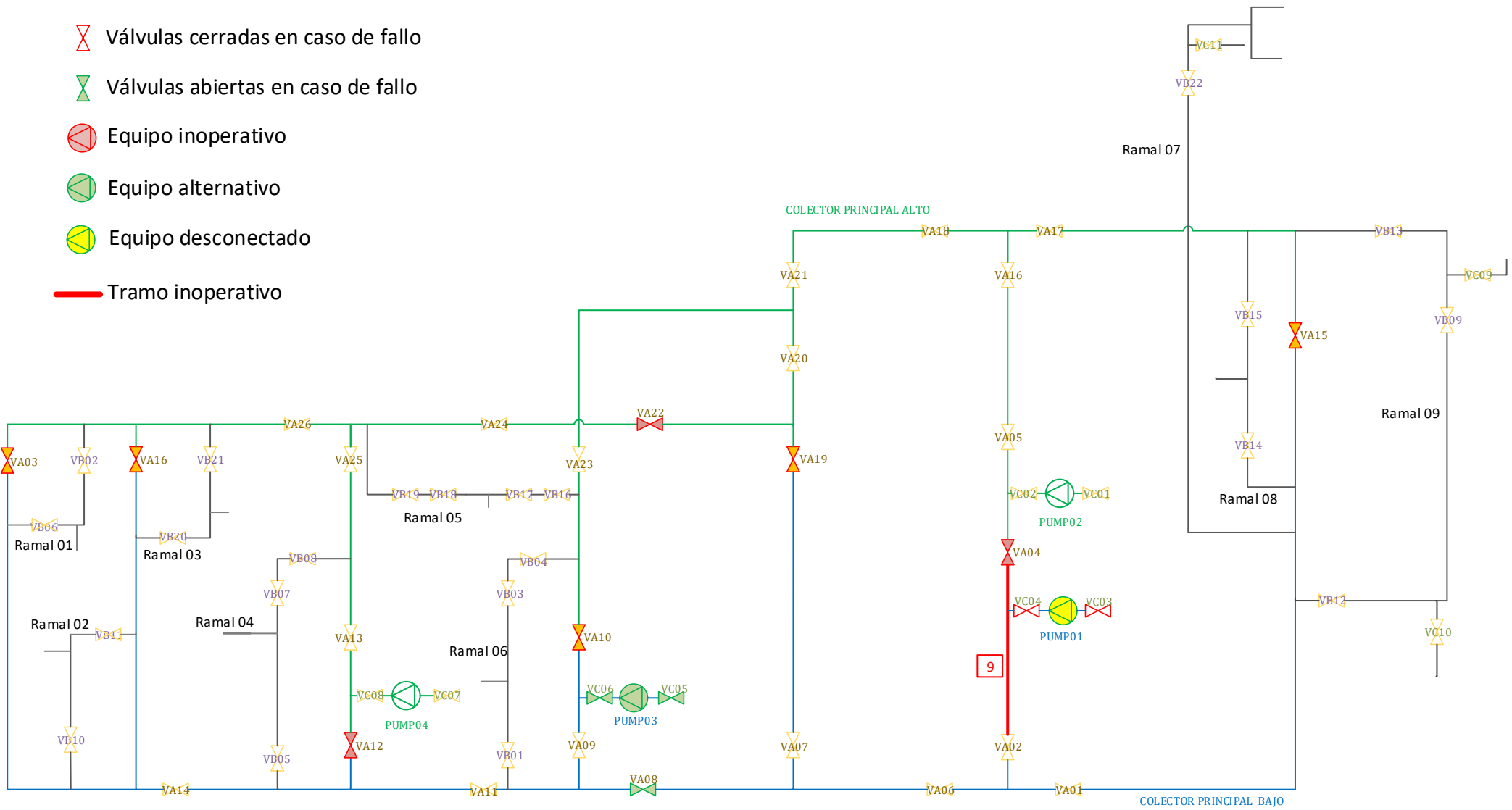
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo



-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo



-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
- Tramo inoperativo



🚫 Válvulas cerradas en condición de Navegación

🚫 Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra

🚫 Válvulas cerradas en caso de fallo

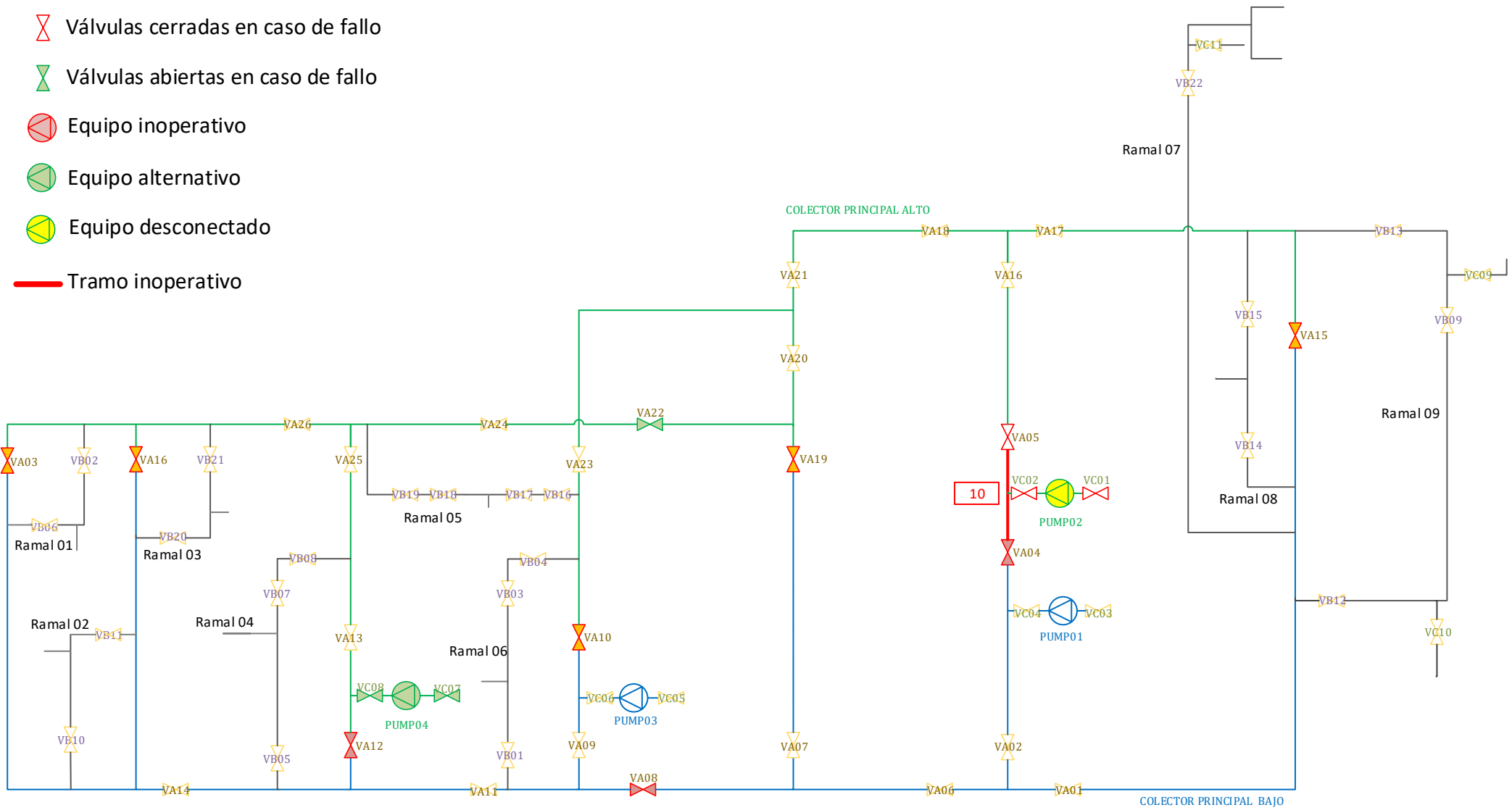
🟢 Válvulas abiertas en caso de fallo








🛑 Equipo inoperativo

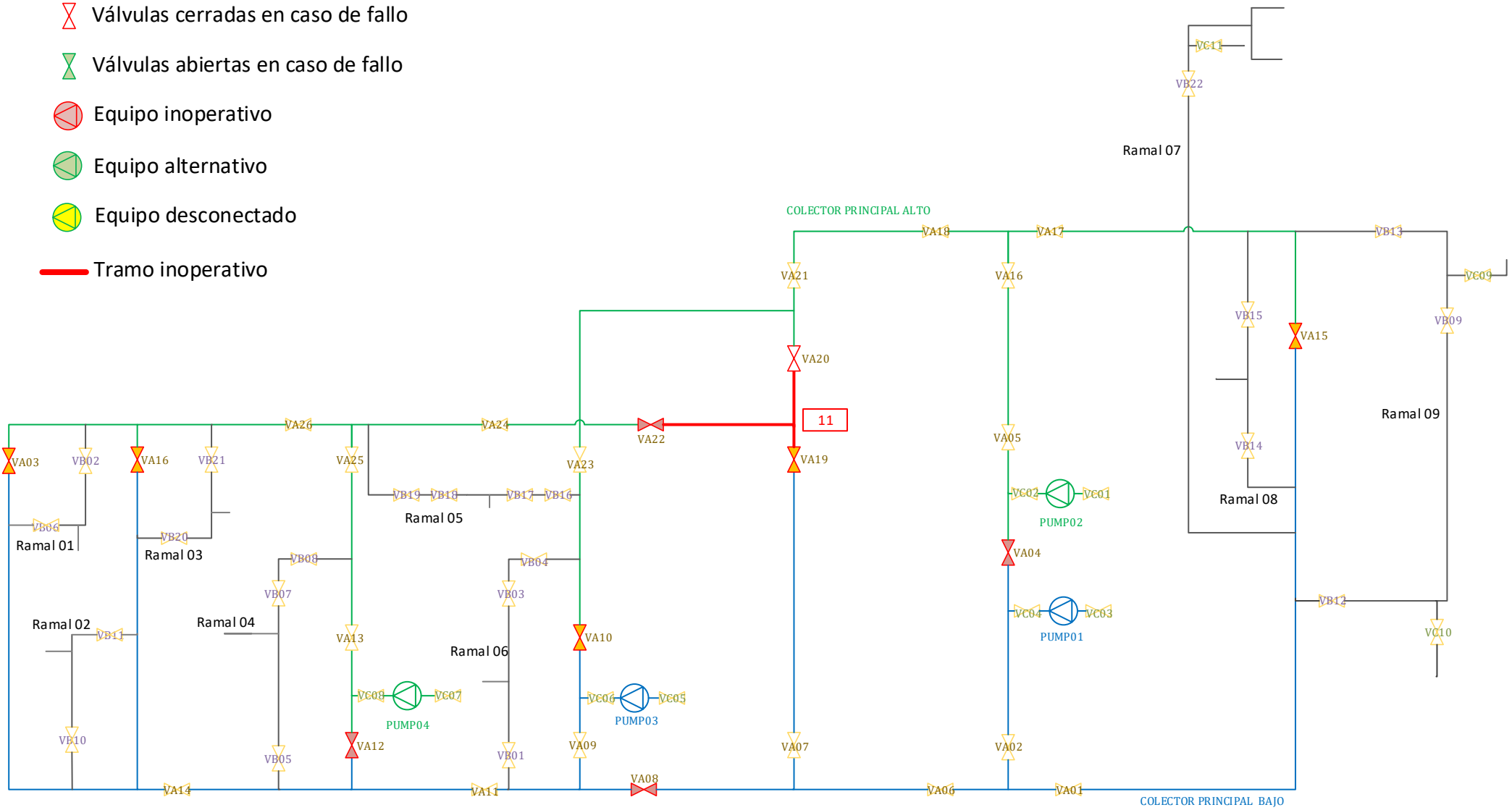
🟢 Equipo alternativo









🟡 Equipo desconectado

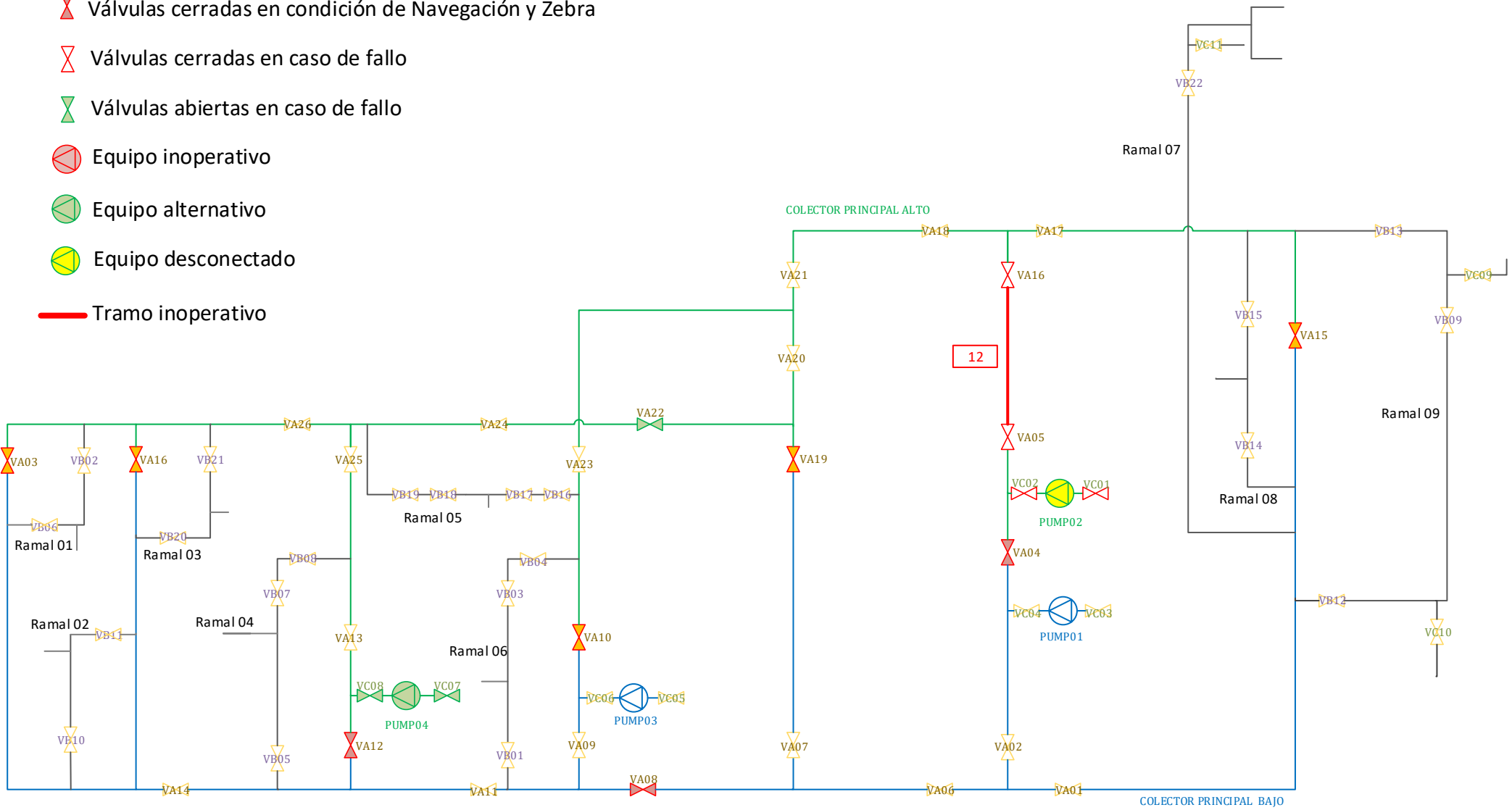
— Tramo inoperativo











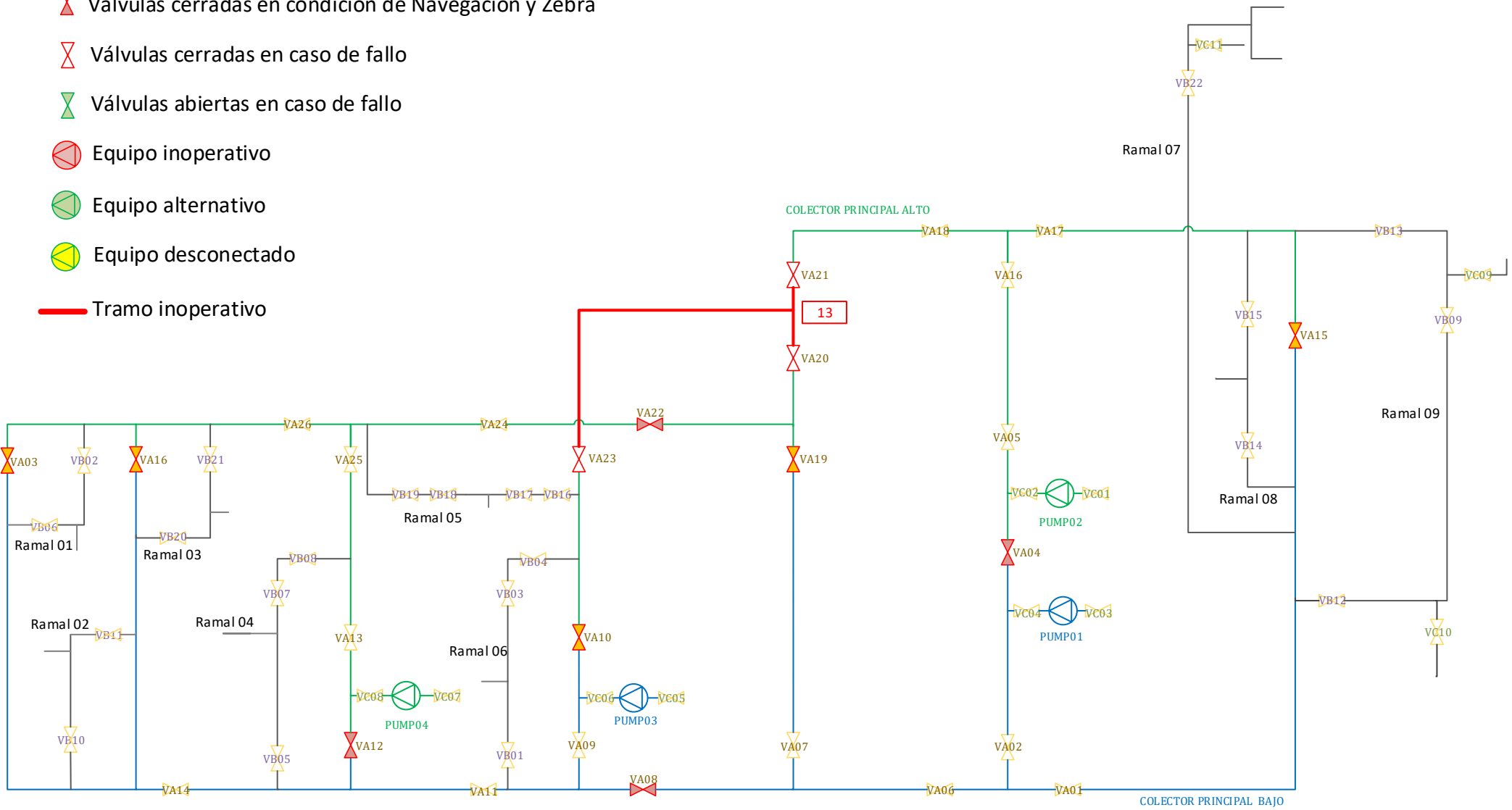
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
- Tramo inoperativo











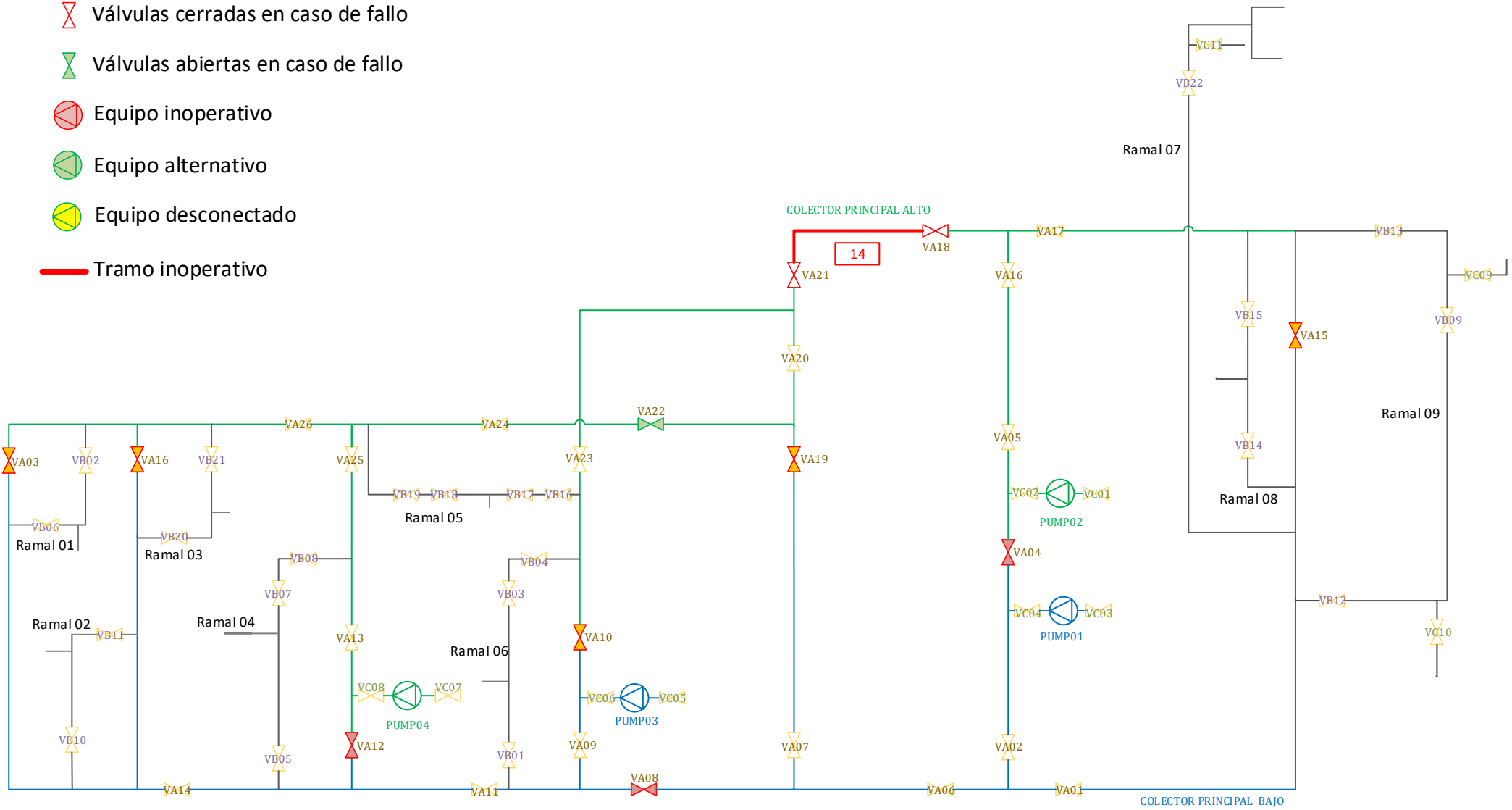
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











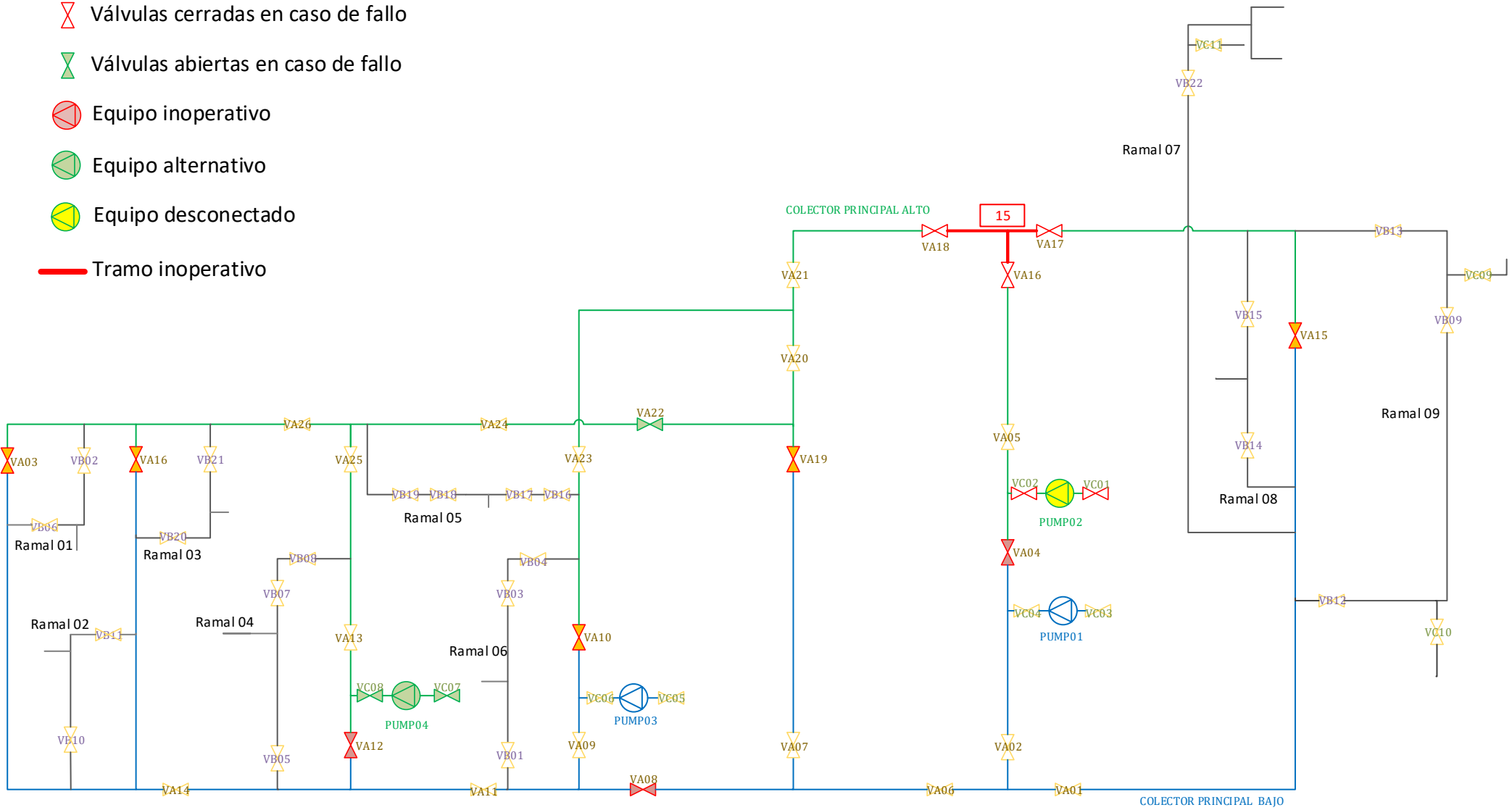
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











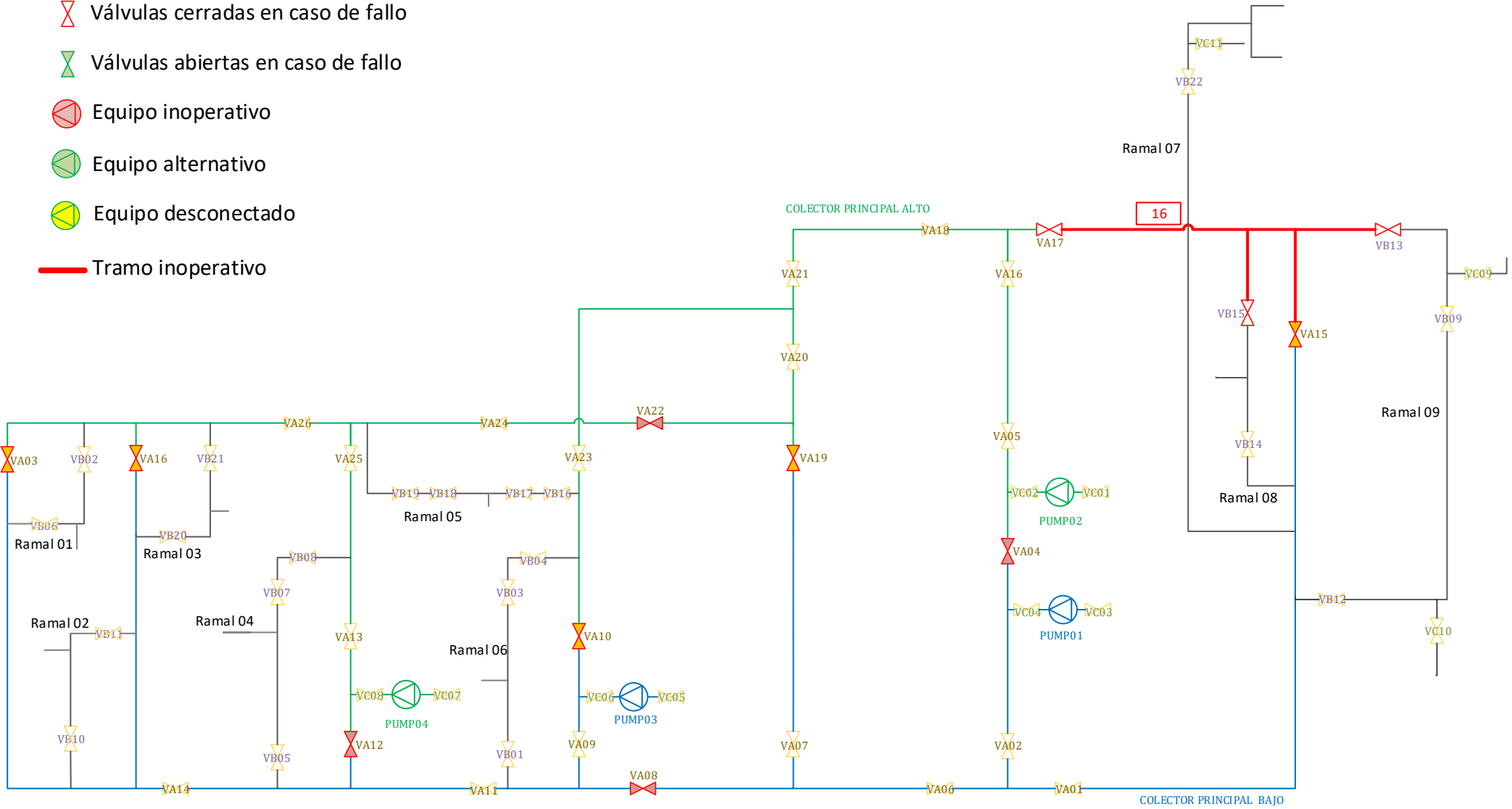
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











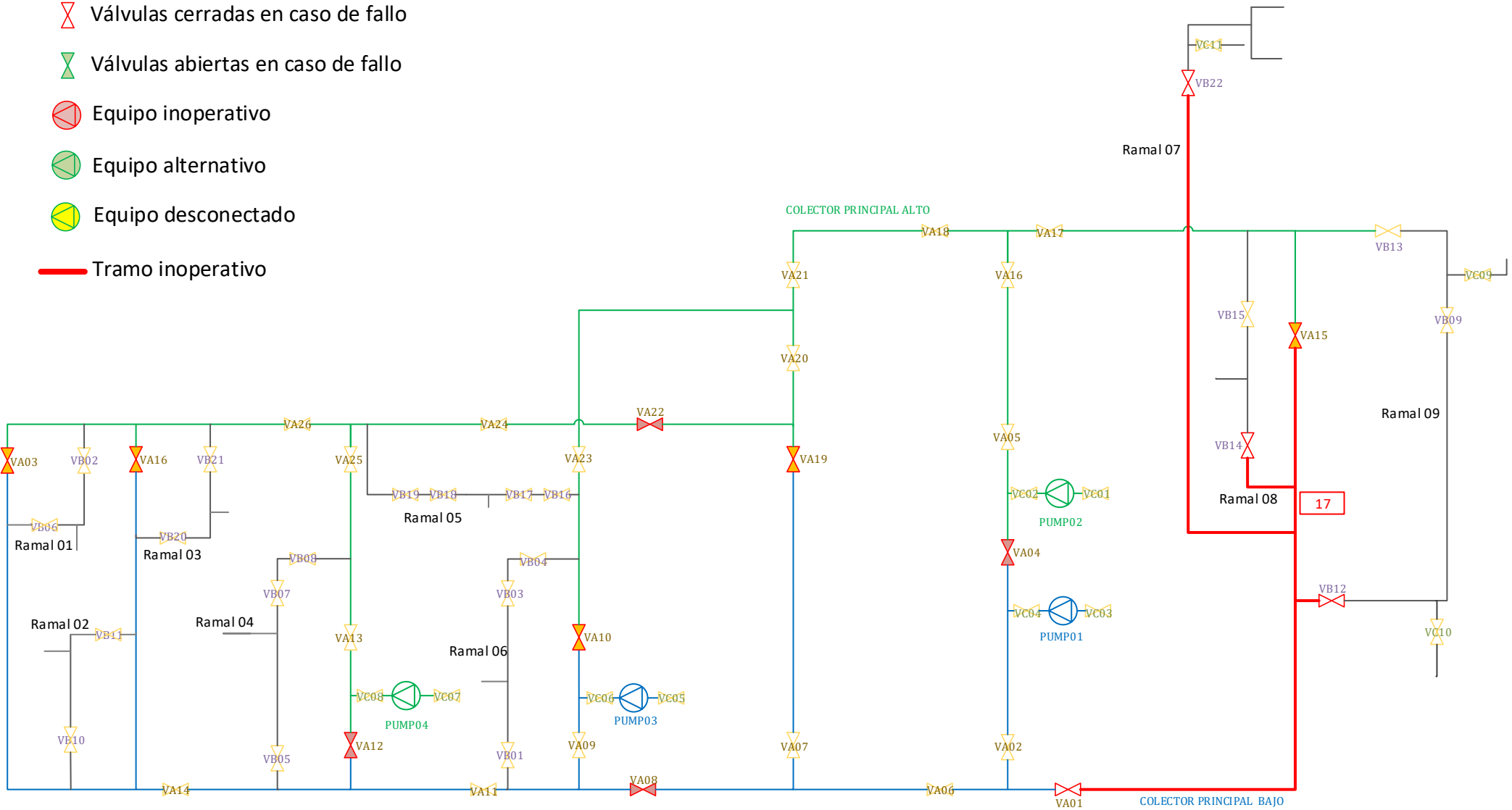
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











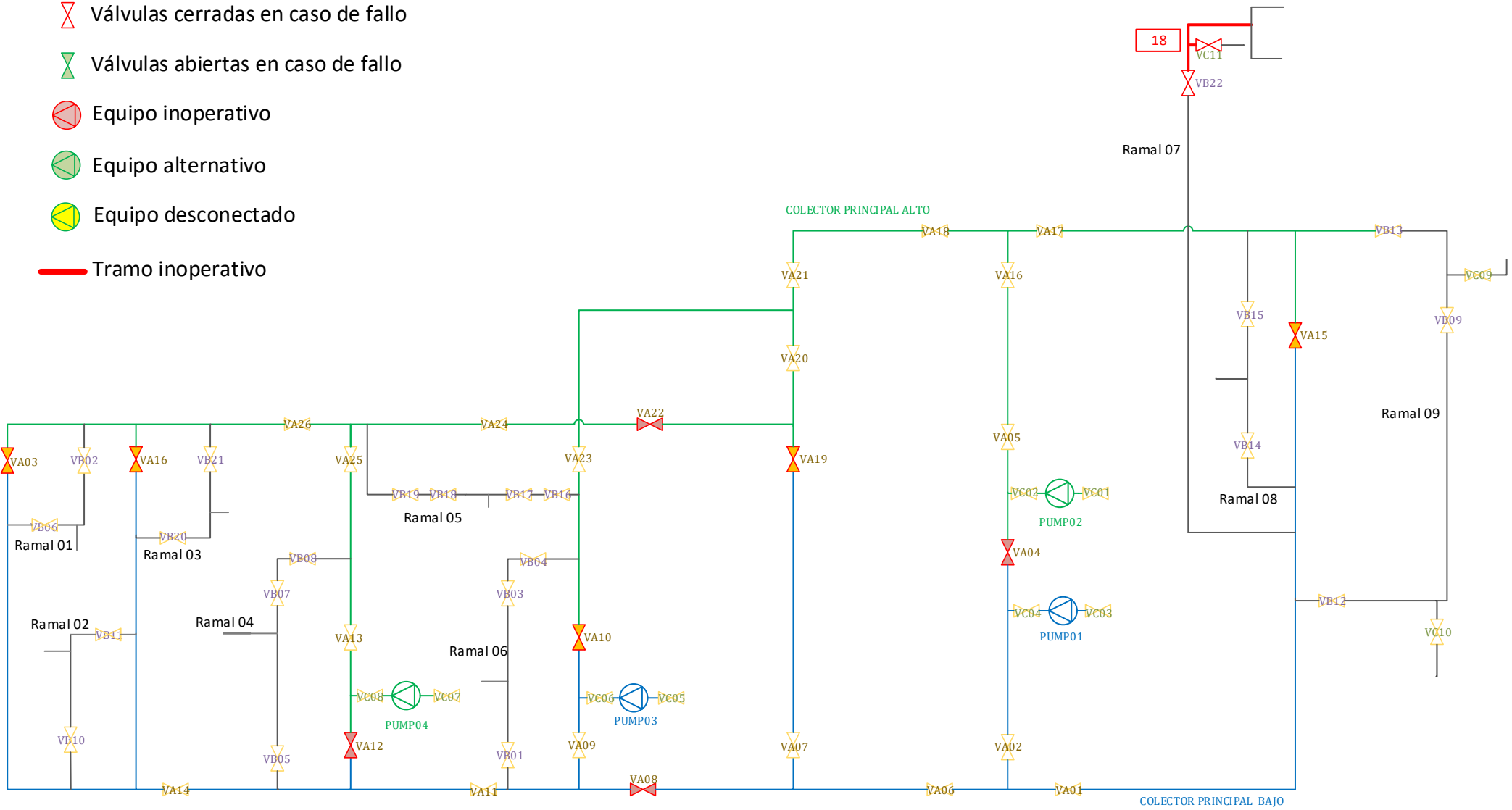
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











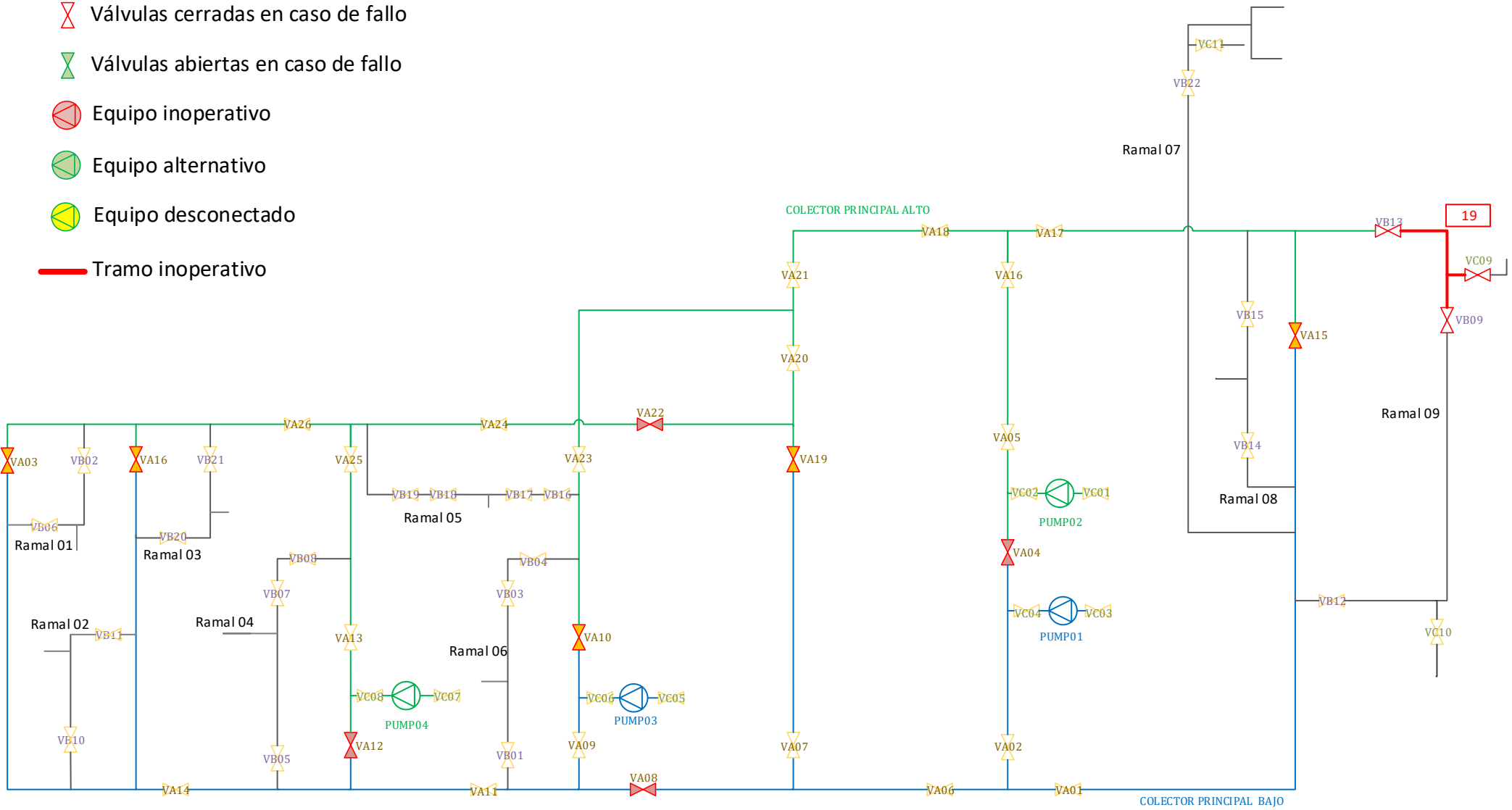
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











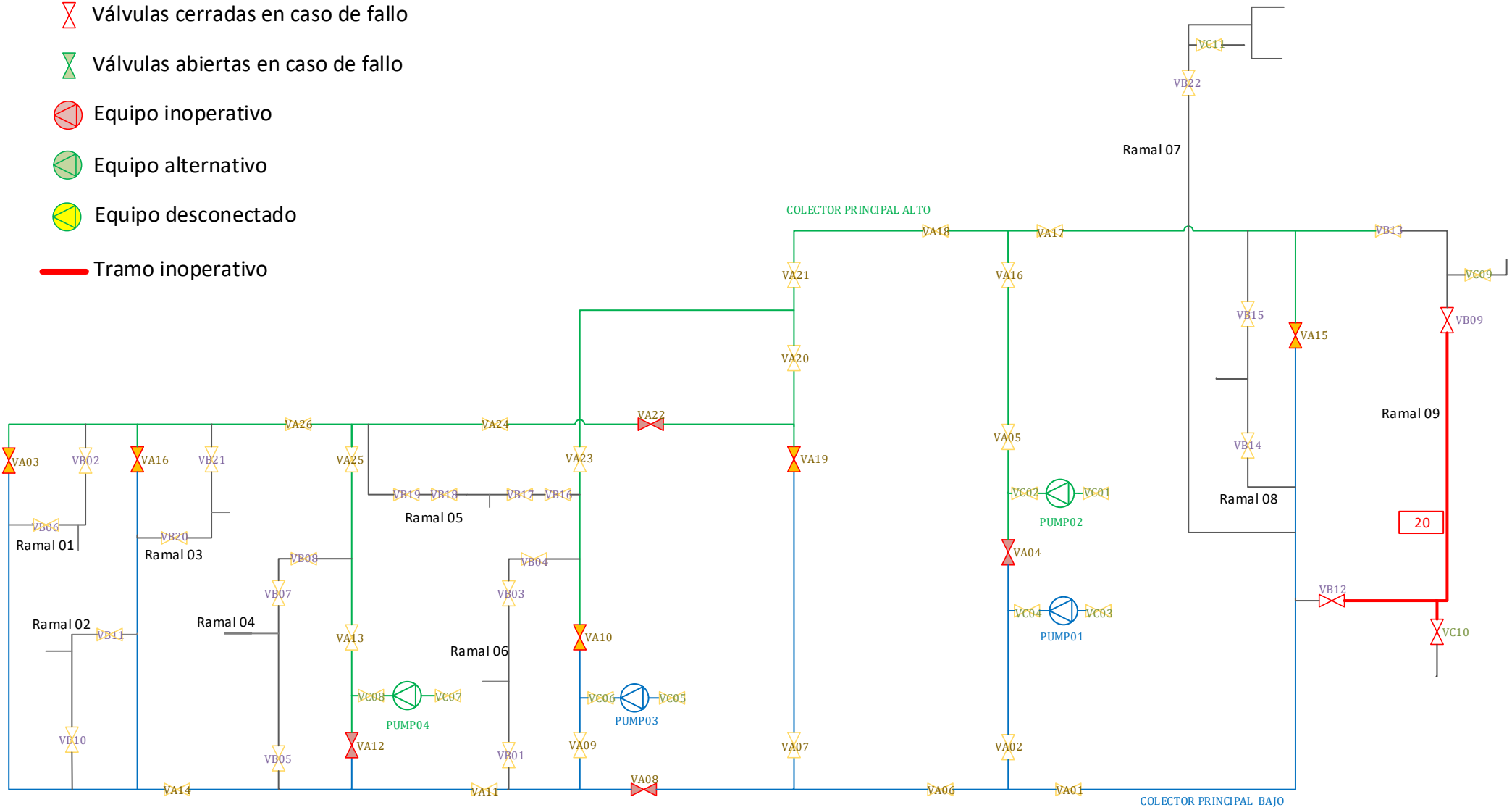
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











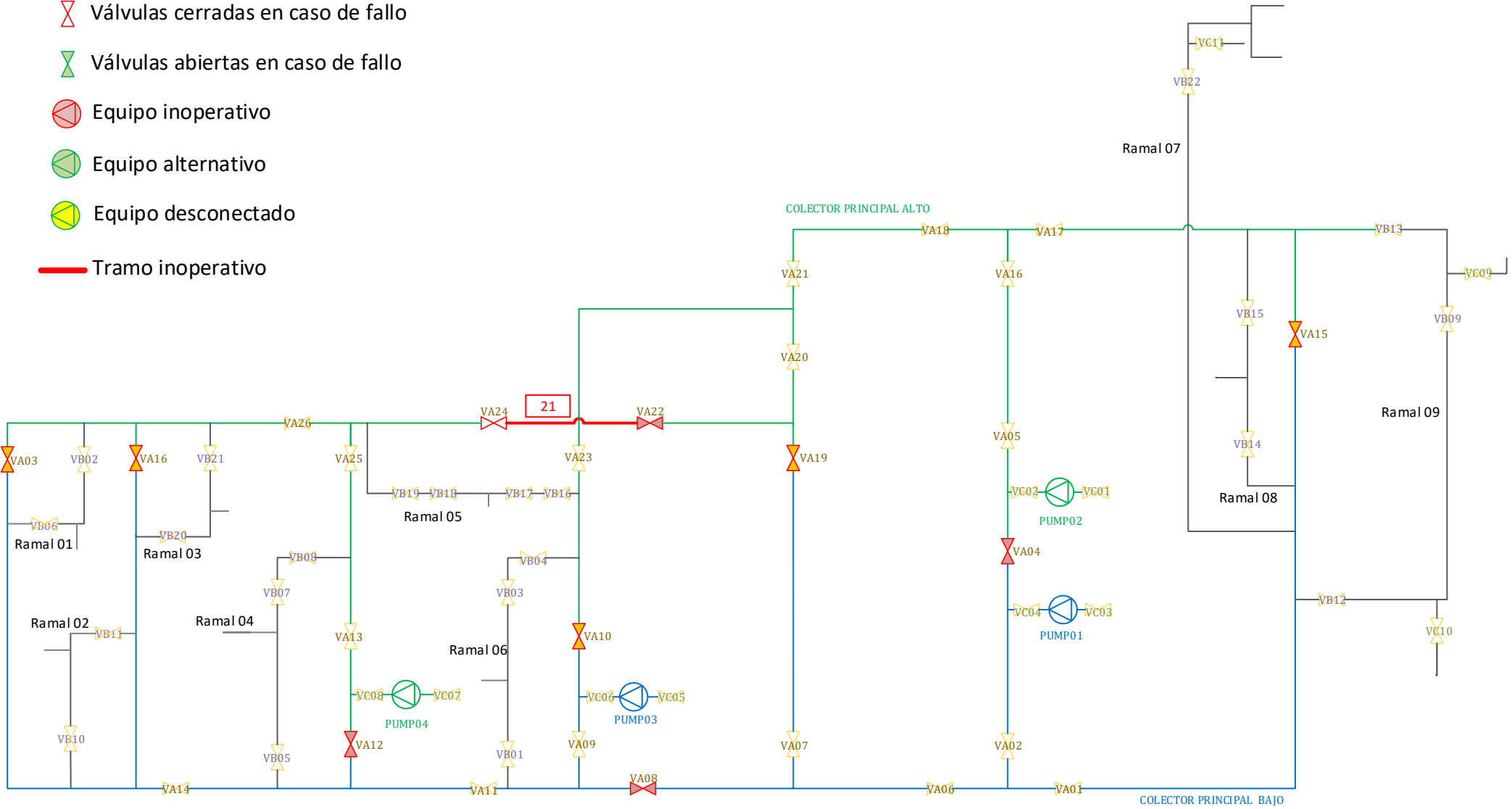
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











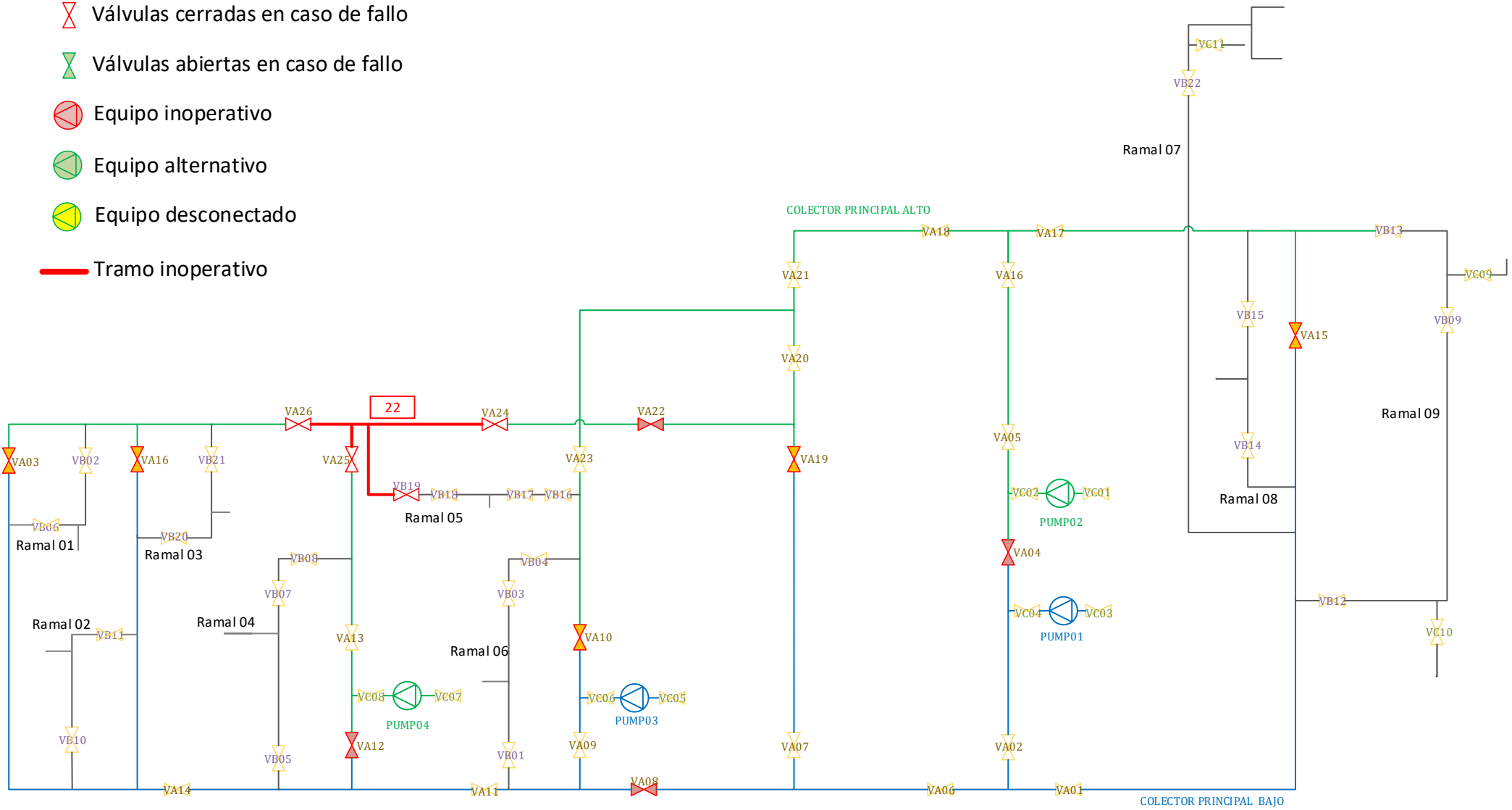
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo










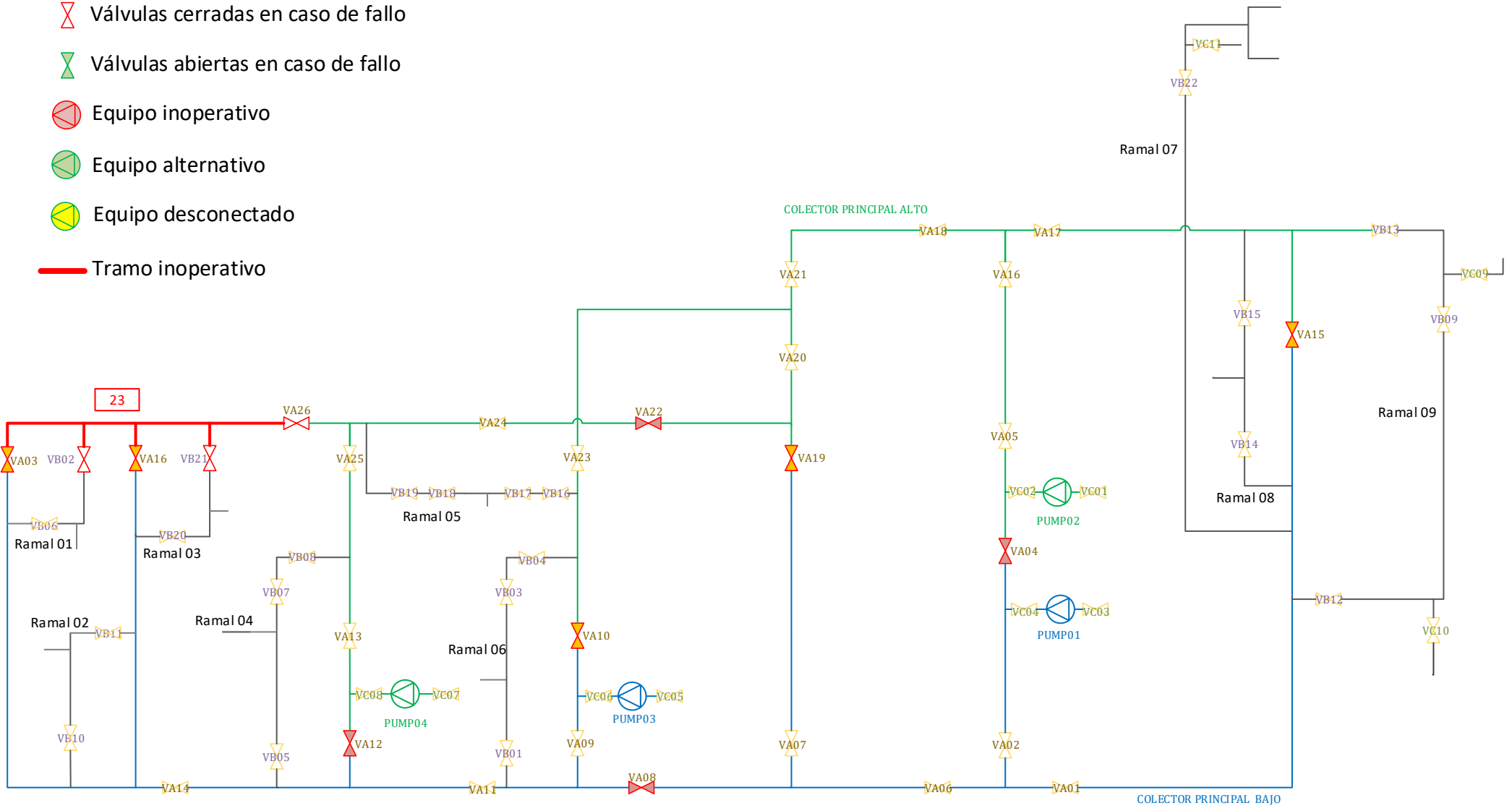
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











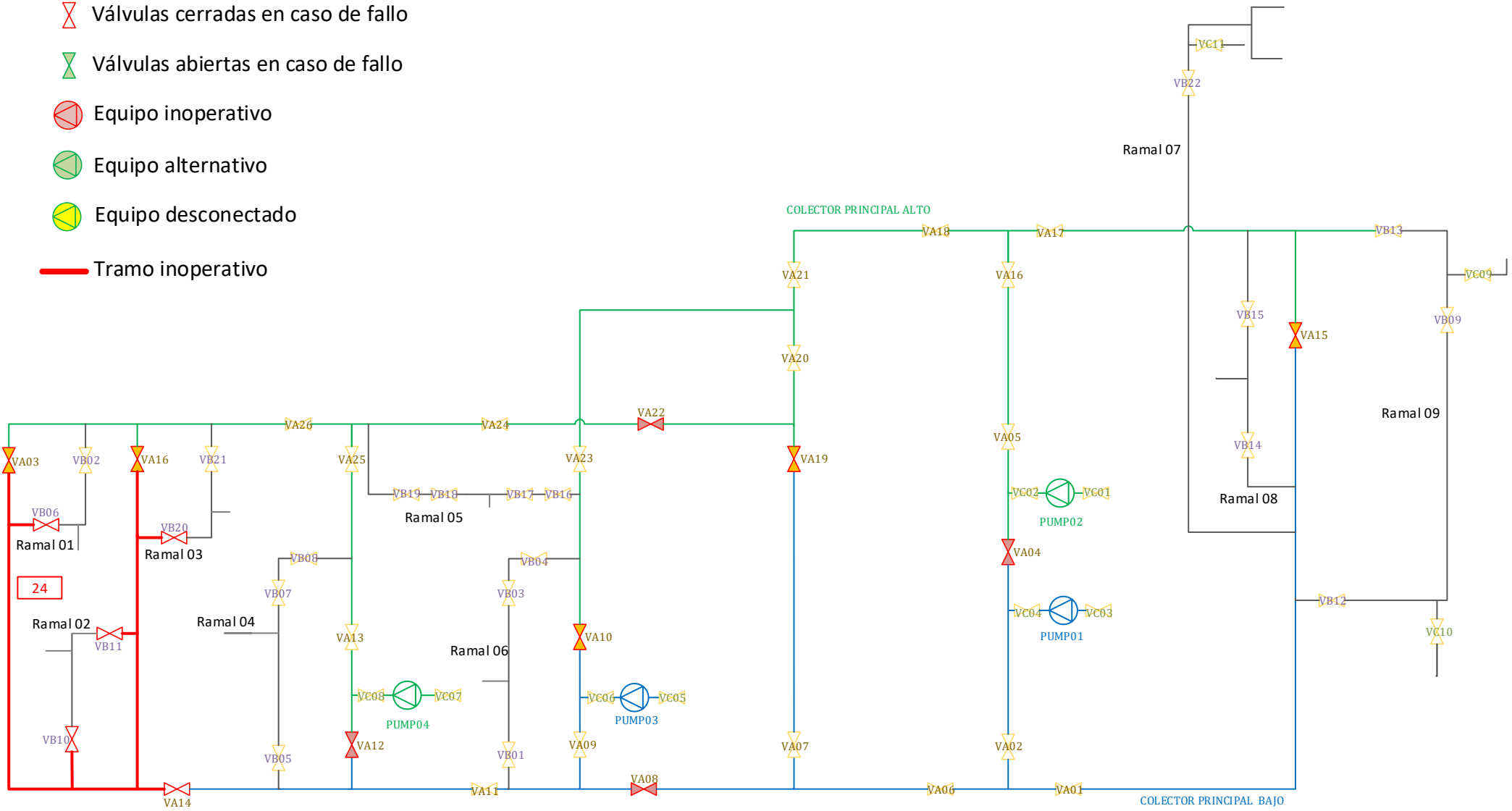
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











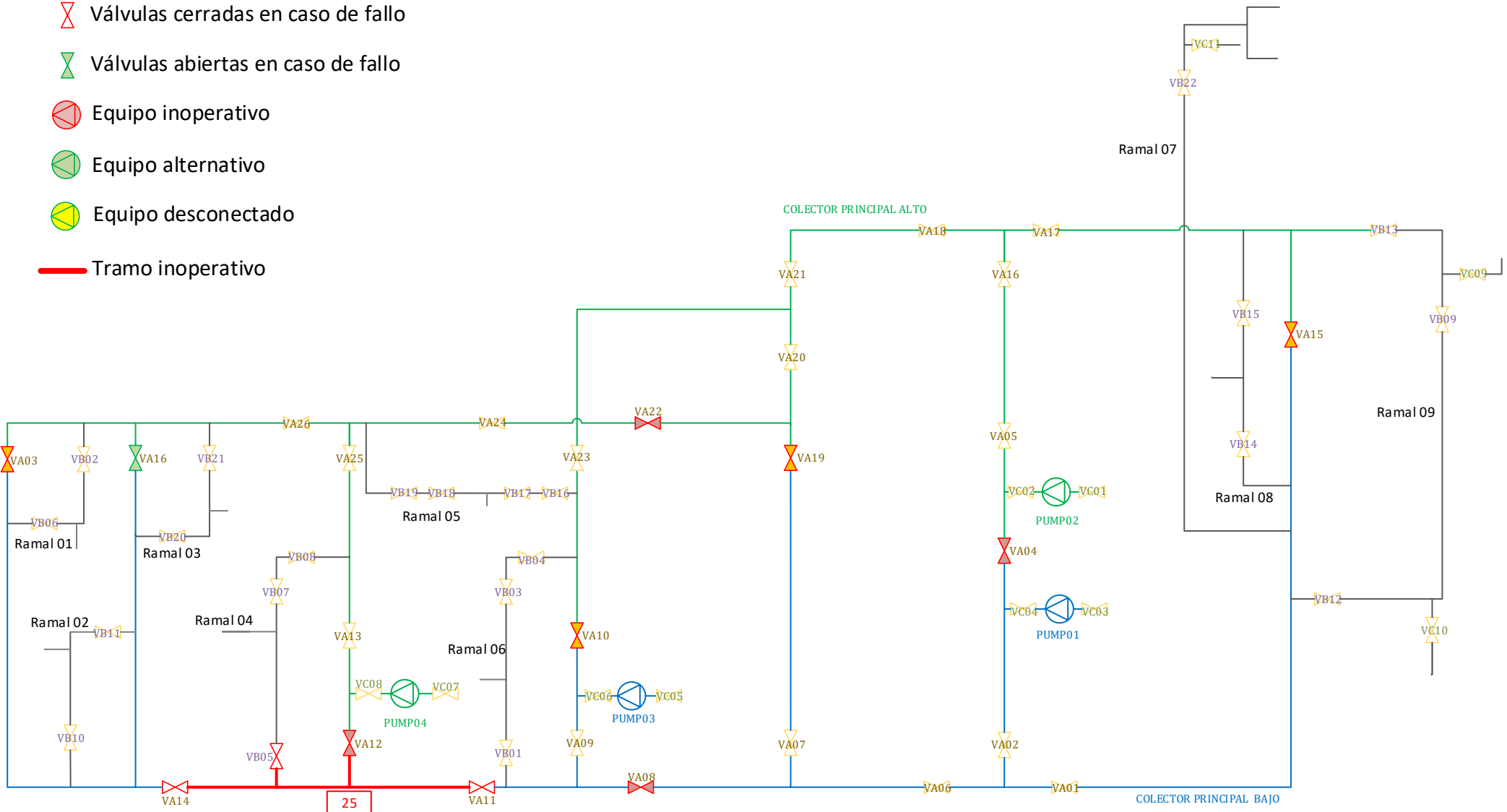
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
- Tramo inoperativo











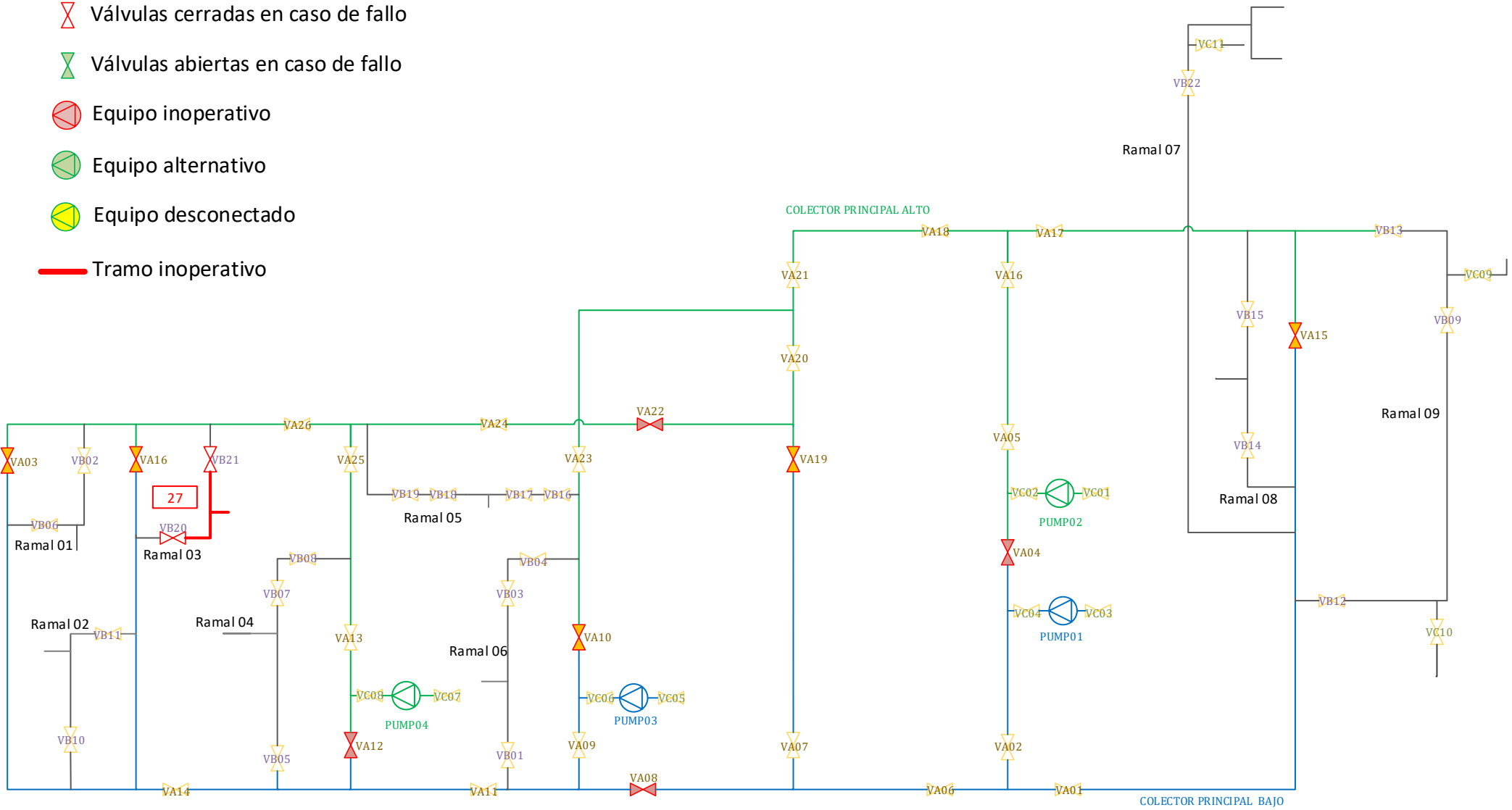
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











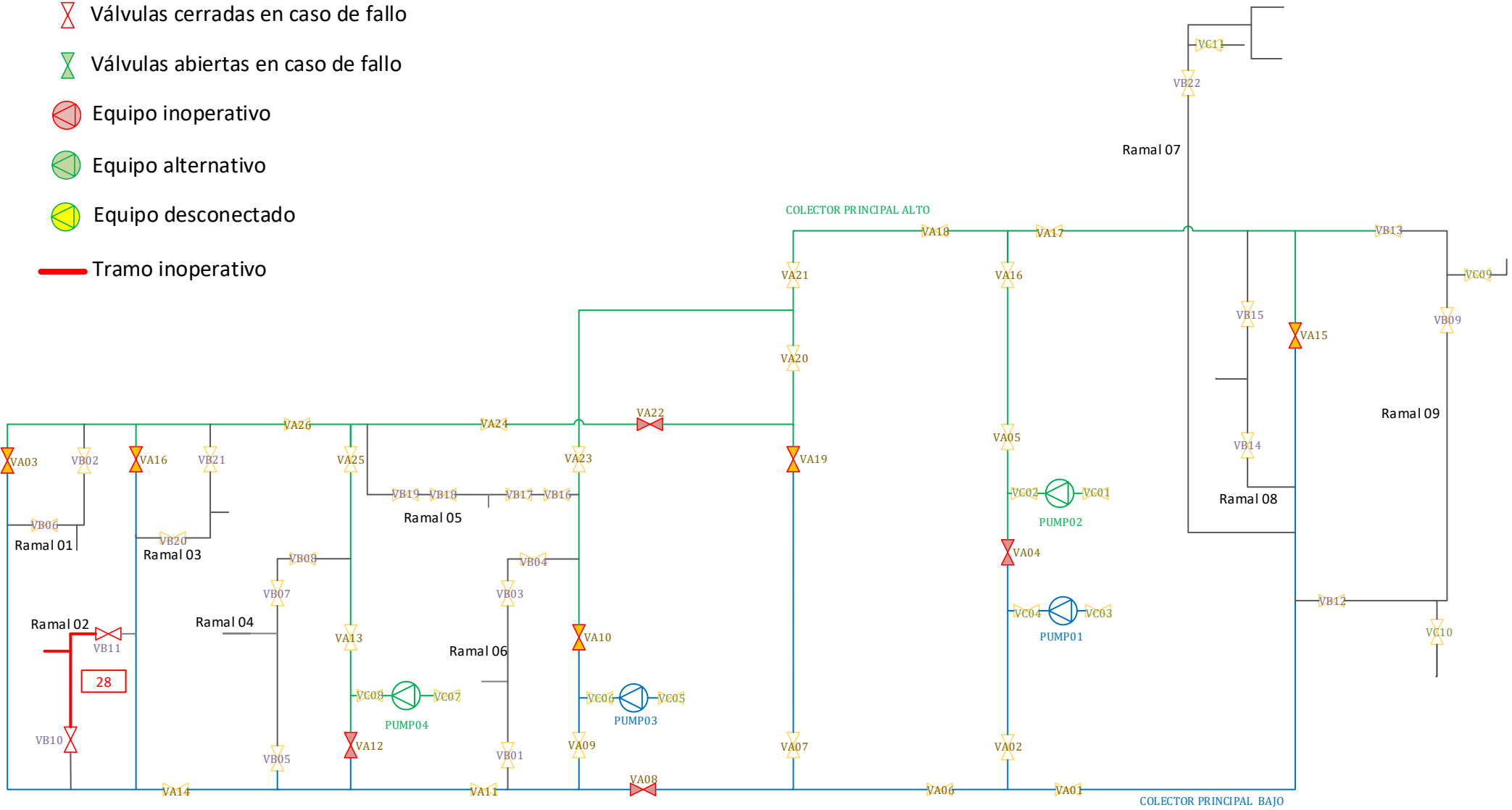
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











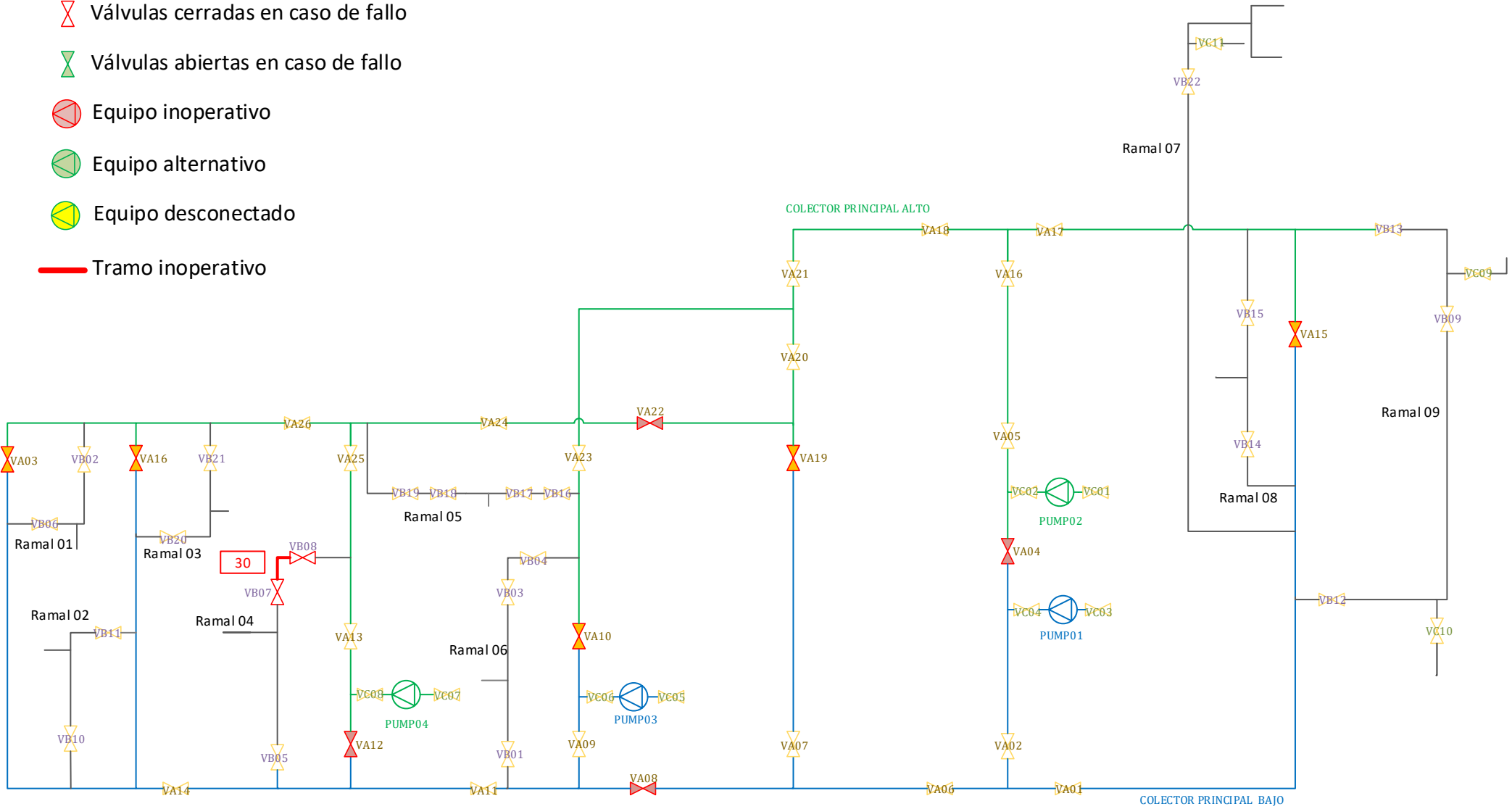
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











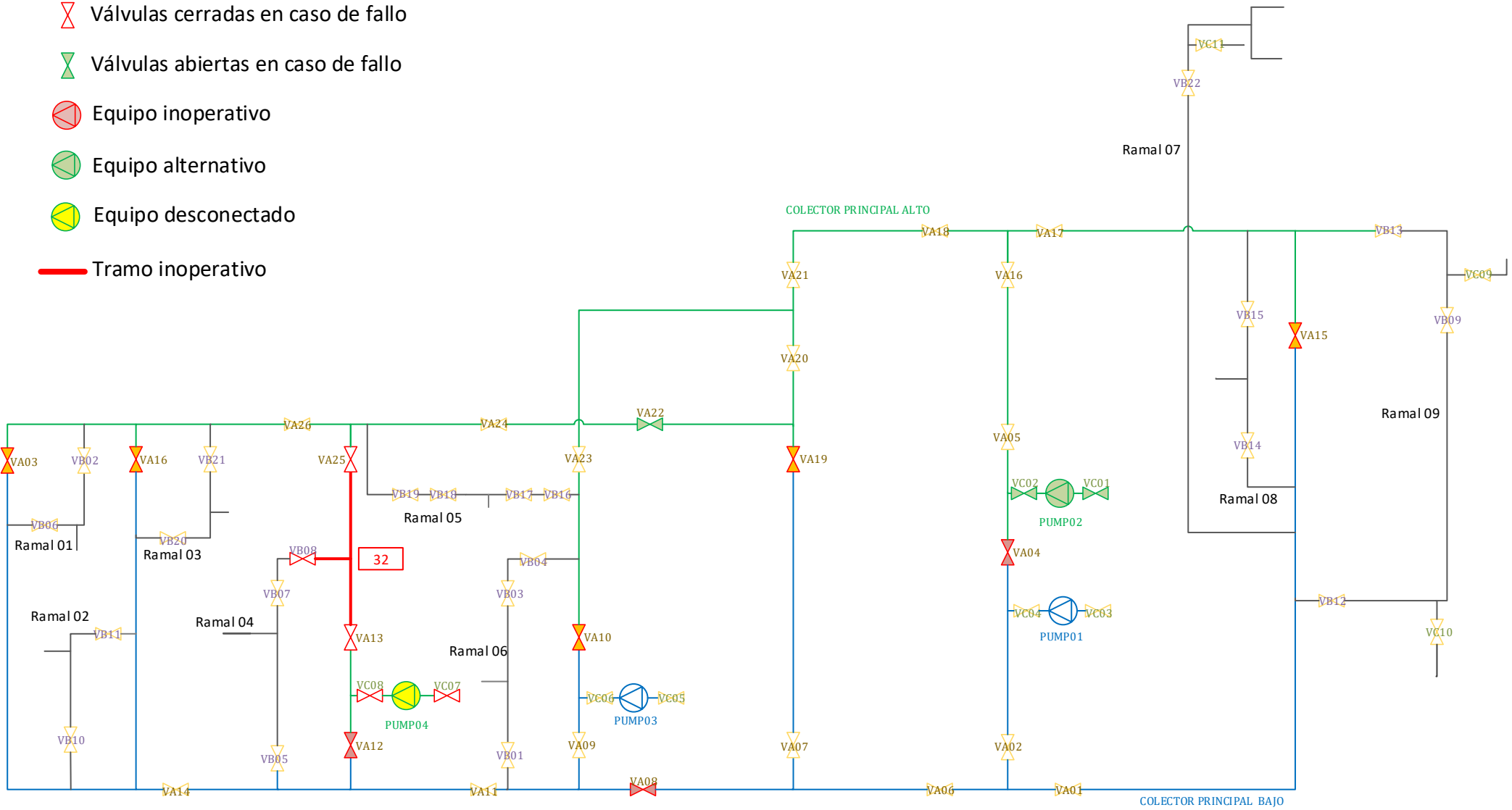
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











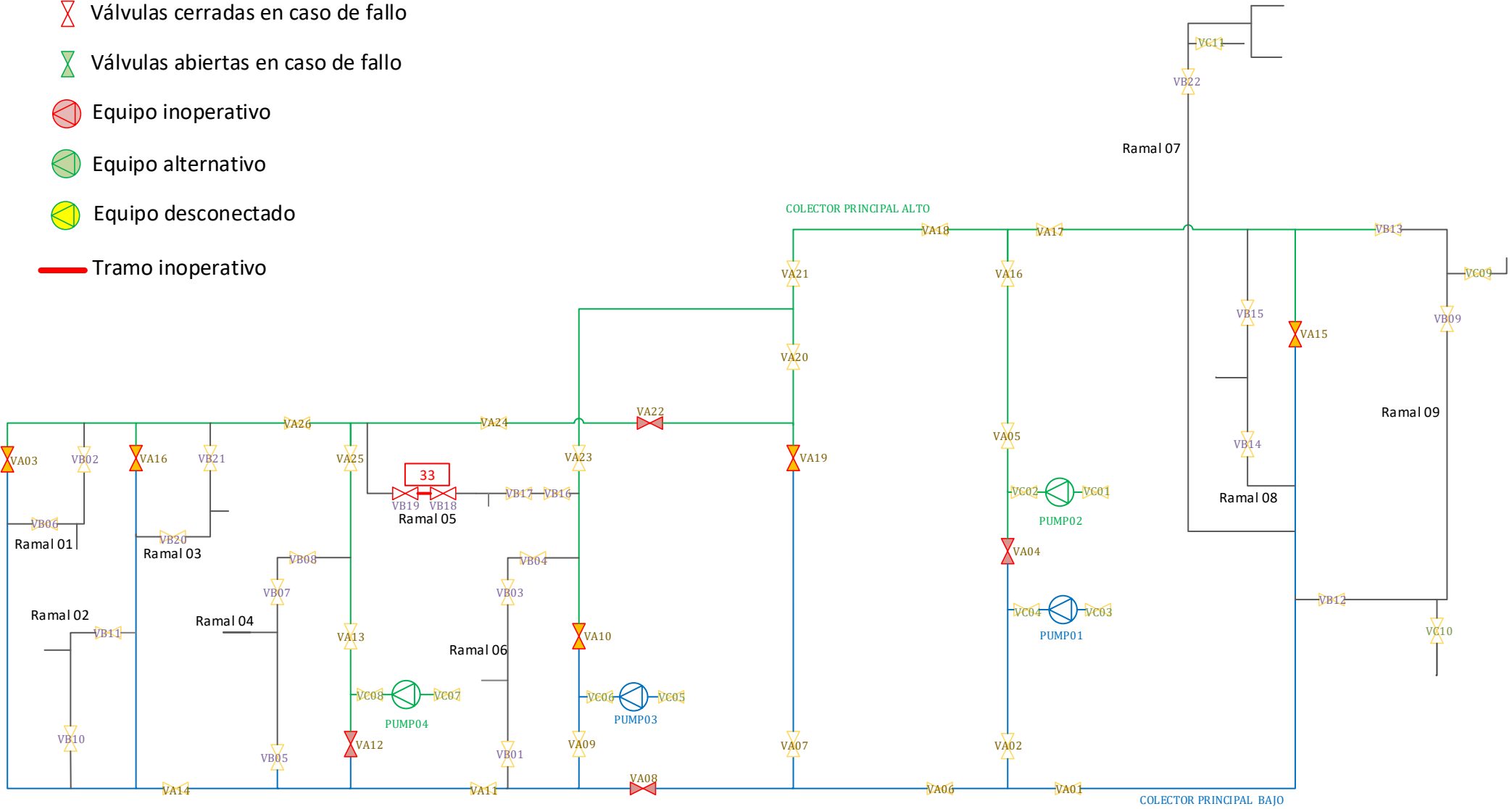
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











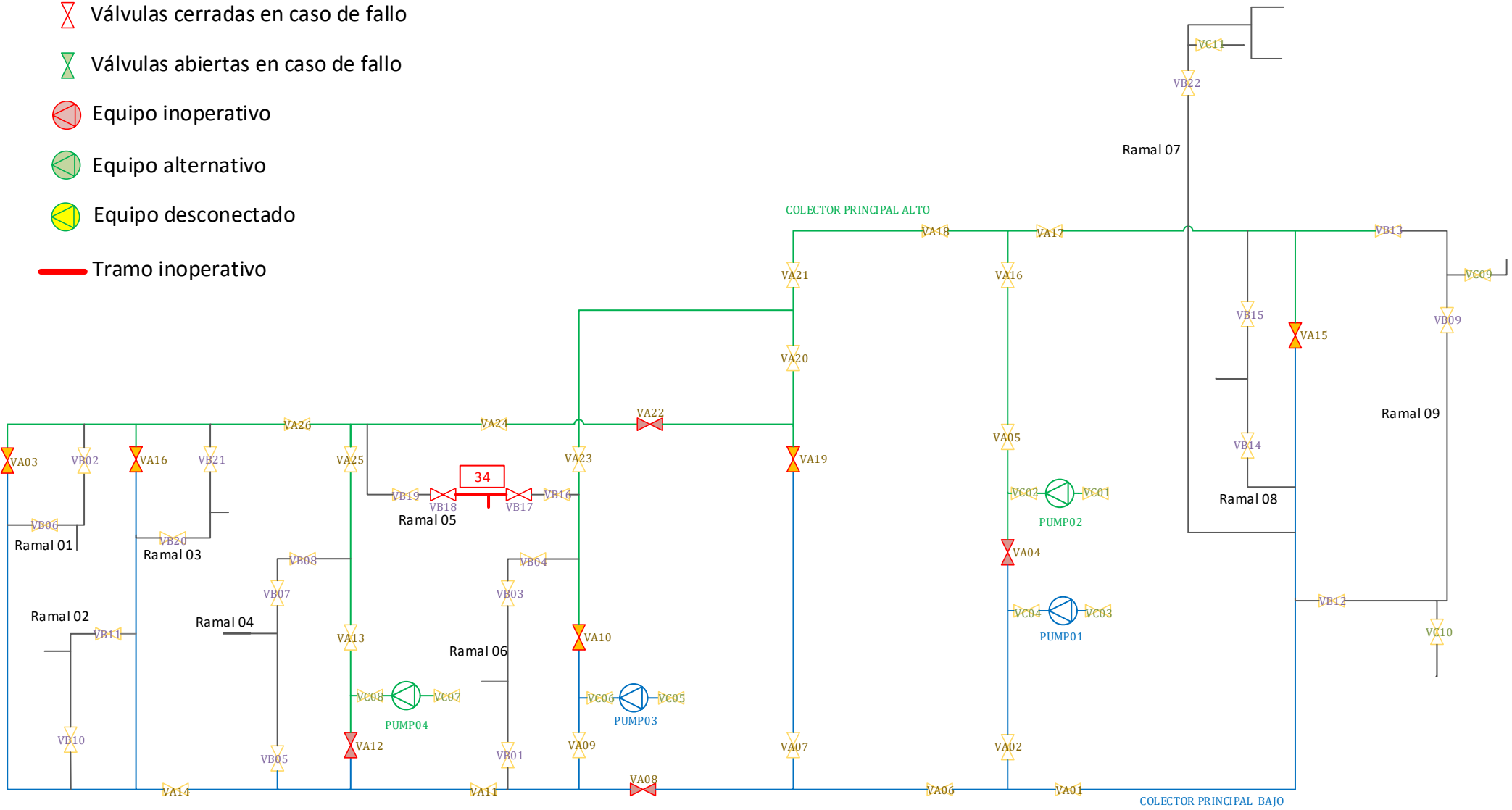
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











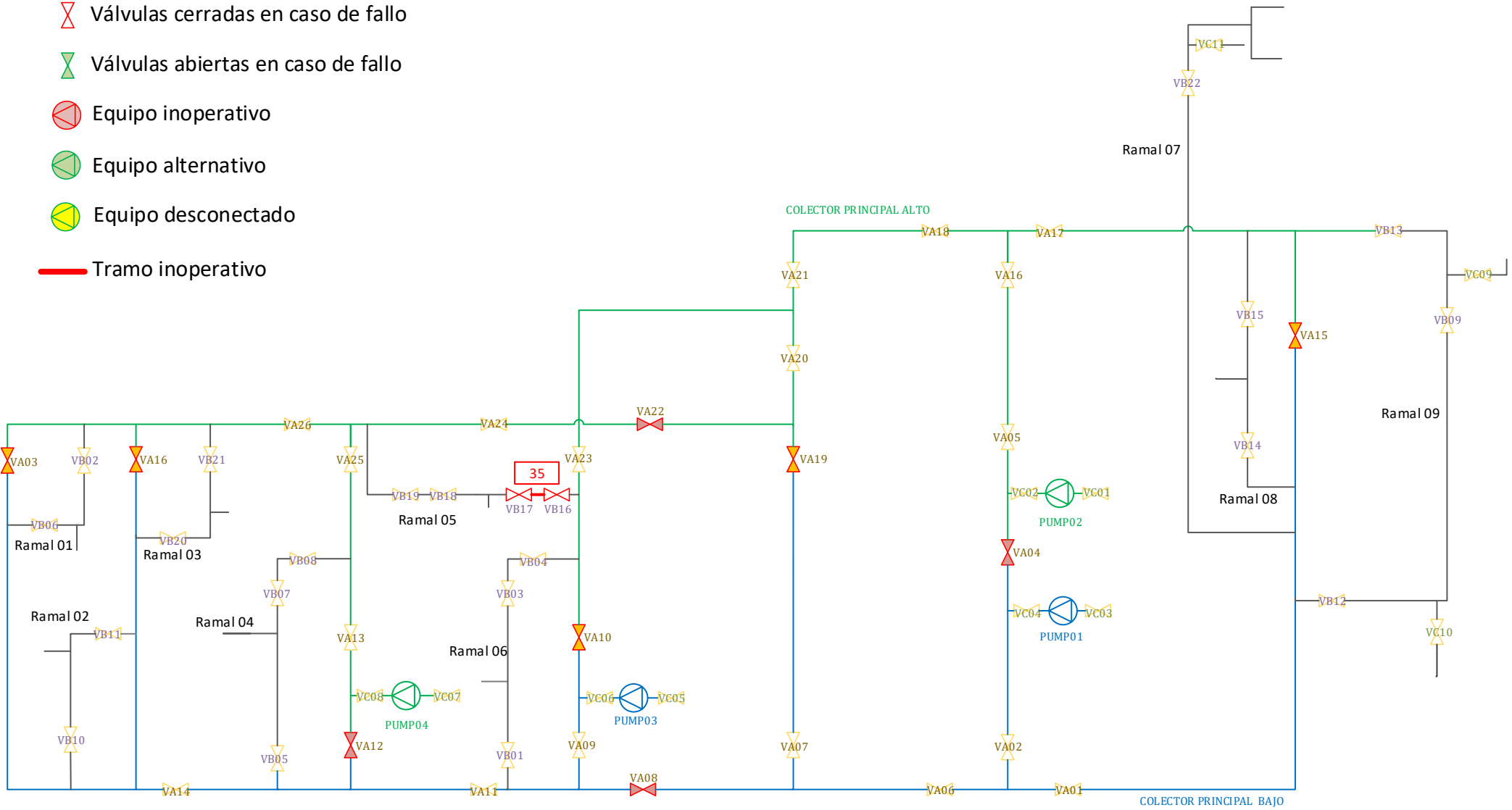
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











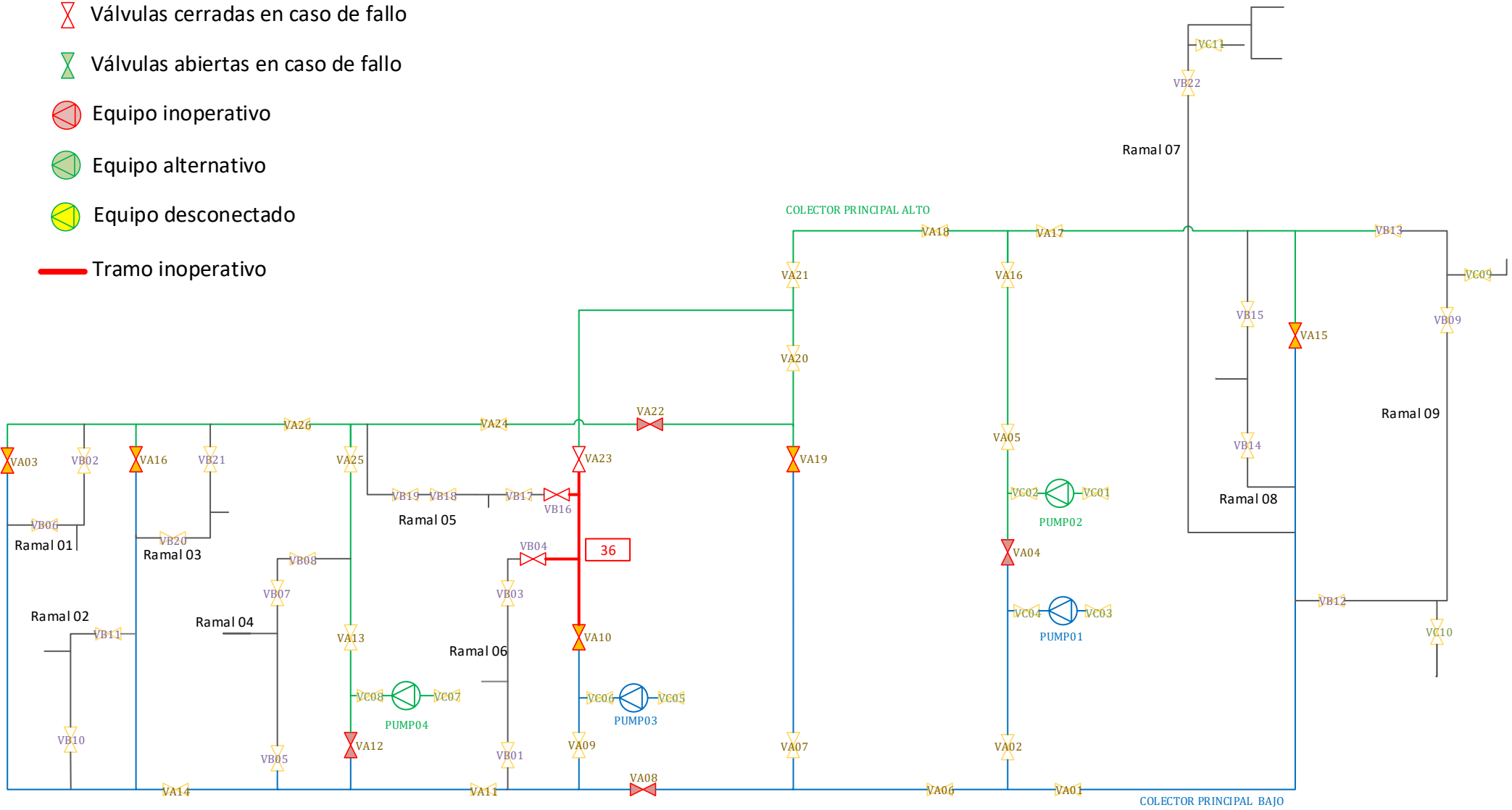
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











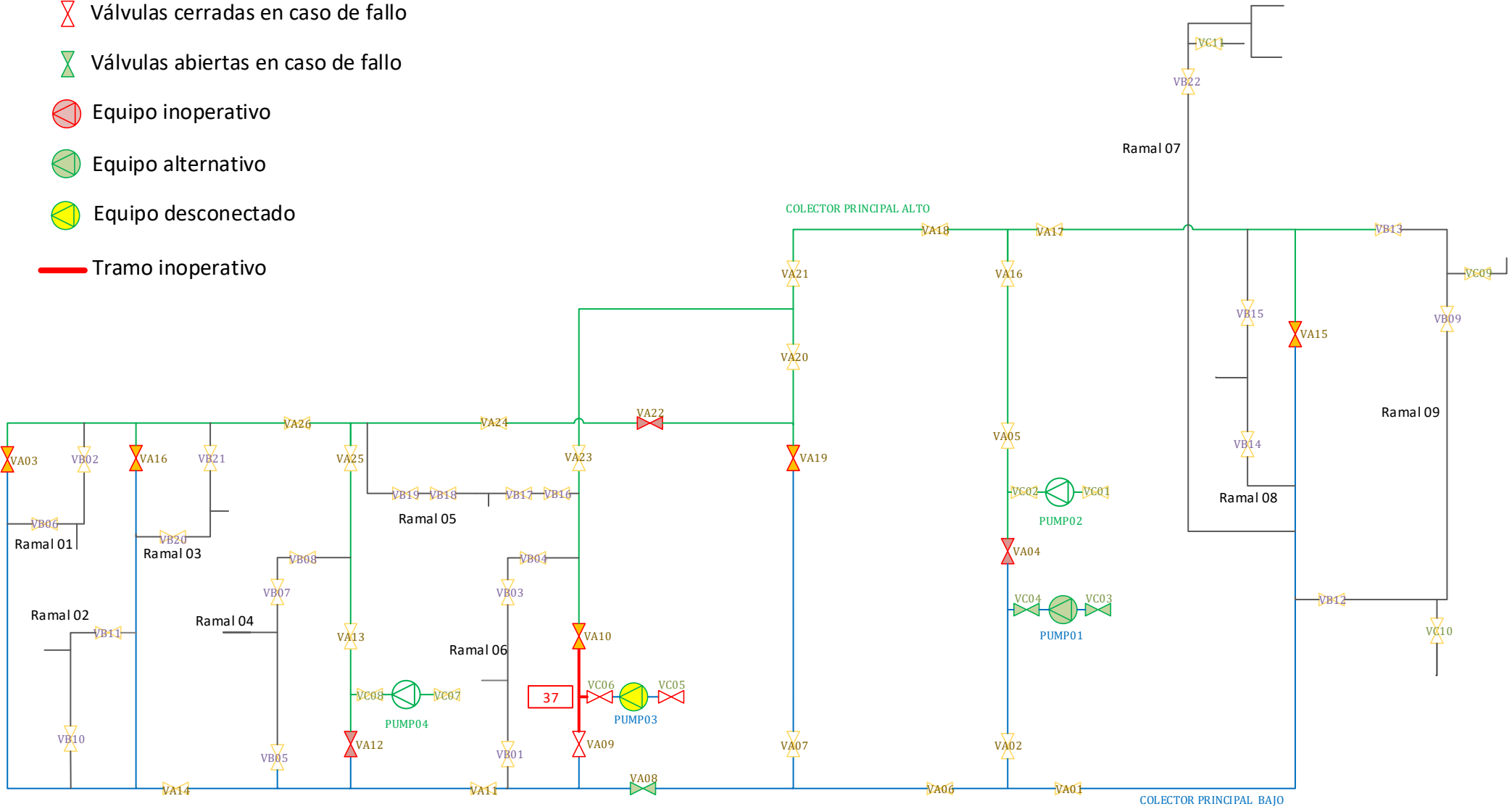
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











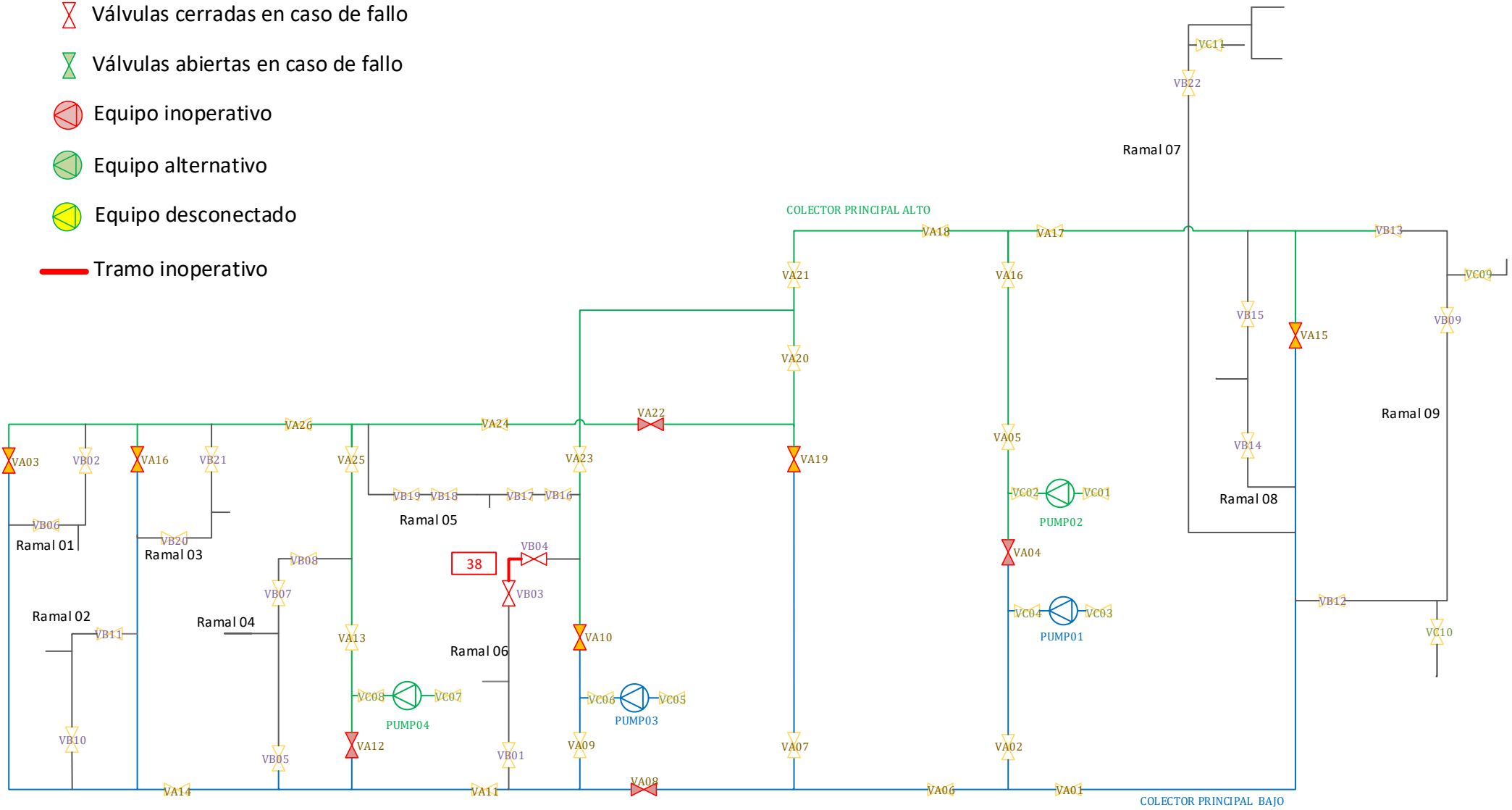
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











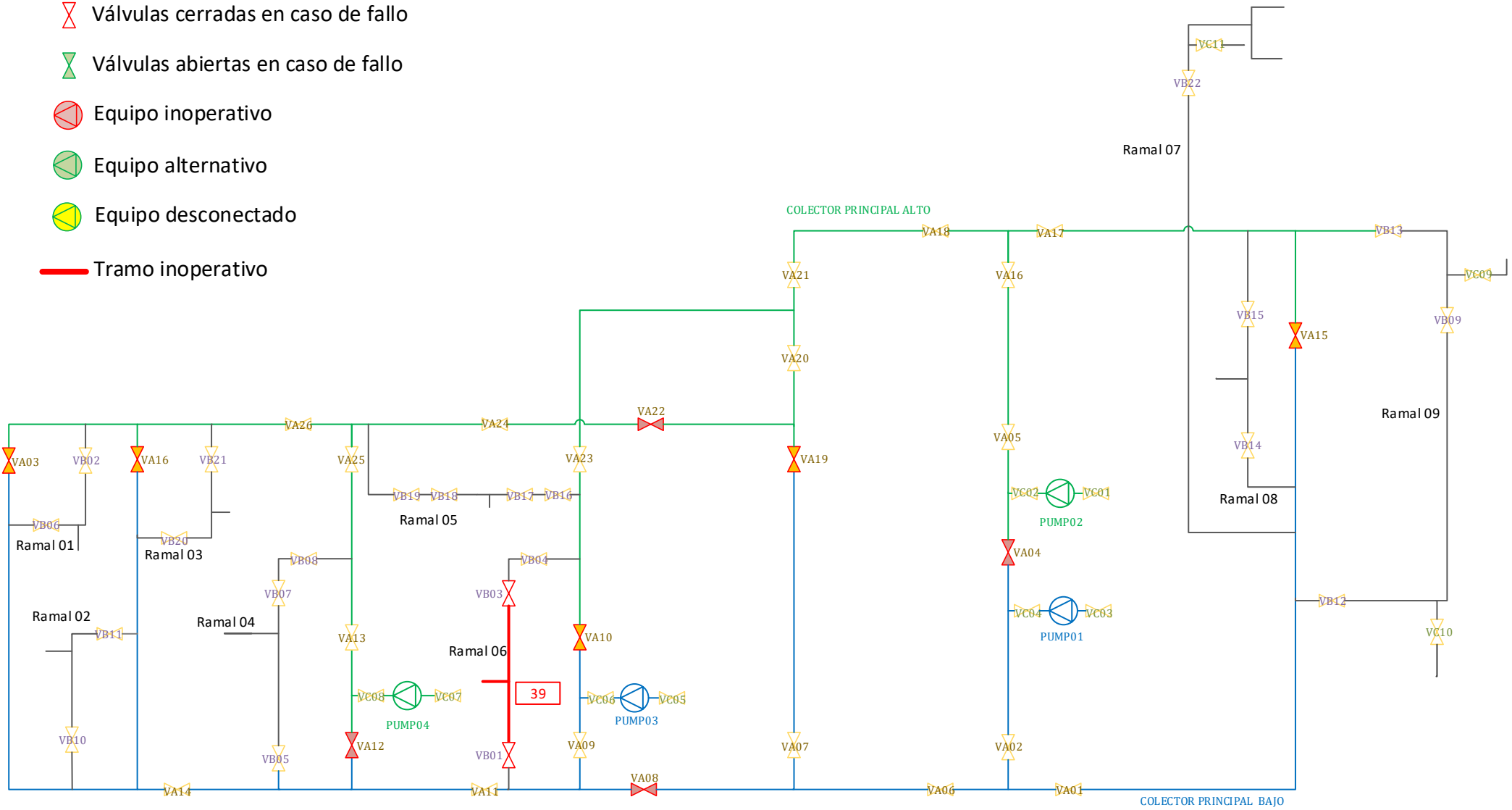
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo











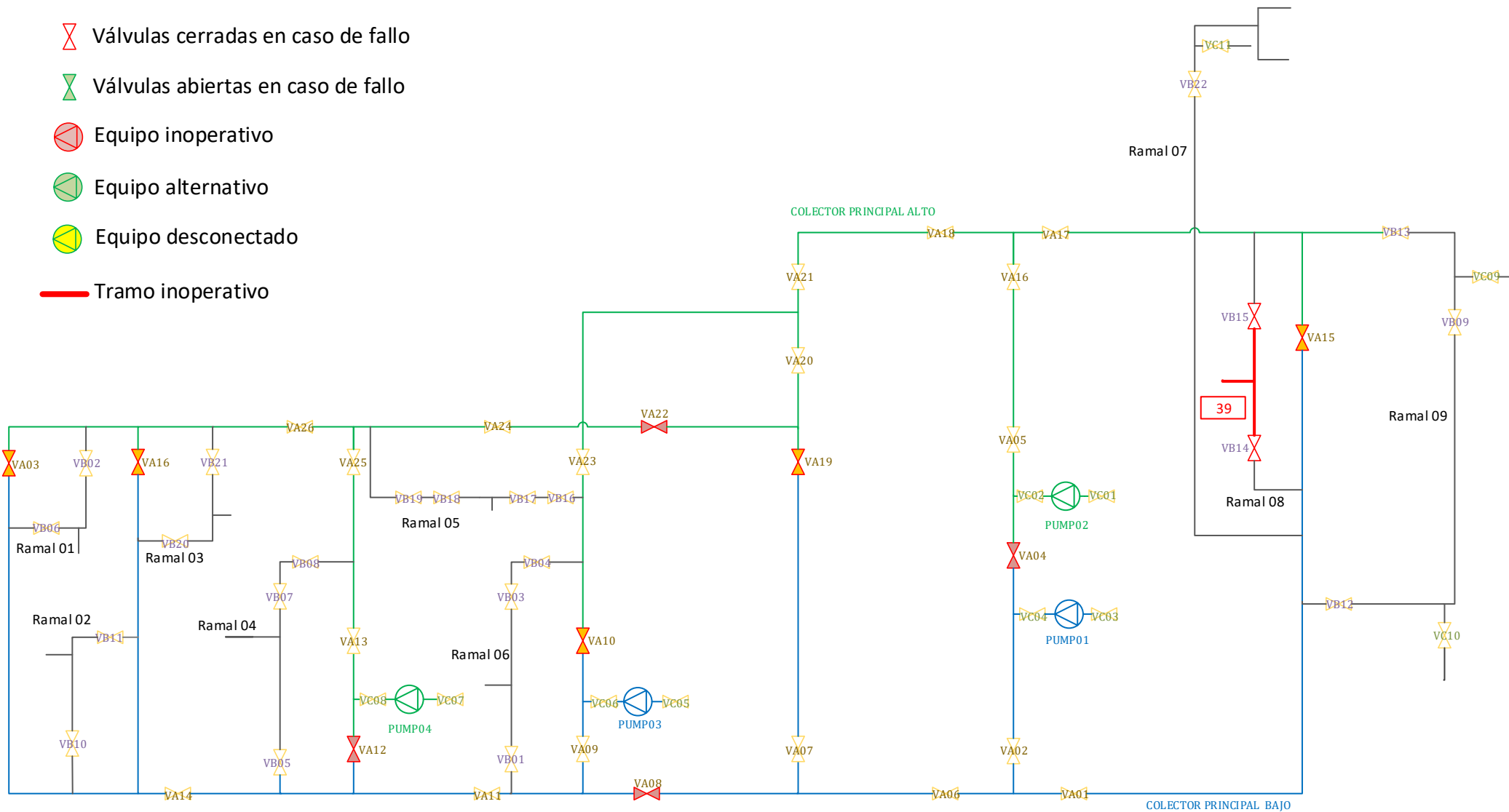
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo



-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo



-  Válvulas cerradas en condición de Navegación
-  Válvulas cerradas en condición de Navegación y Zebra
-  Válvulas cerradas en caso de fallo
-  Válvulas abiertas en caso de fallo
-  Equipo inoperativo
-  Equipo alternativo
-  Equipo desconectado
-  Tramo inoperativo



16 ANEXO II

Reports TIA

Alejandro Tizón Final-agosto 3 [V13] / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

Main [OB1]

Main Propiedades

General

Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración	automática						

Información

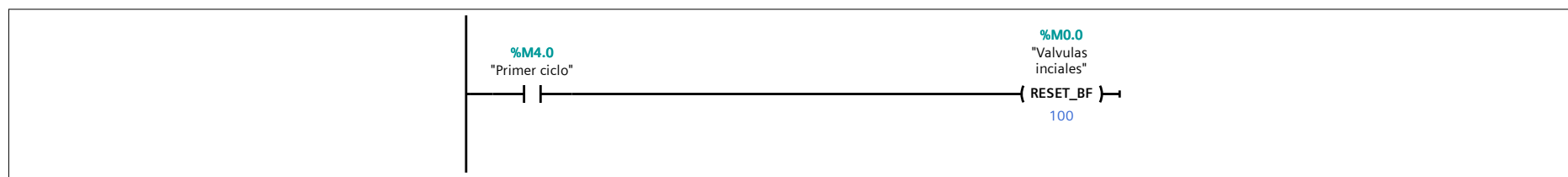
Título	Sistema experto para el control del sistema C.I. en caso de averías	Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Main

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
Temp			
Constant			

Segmento 1: Primer ciclo

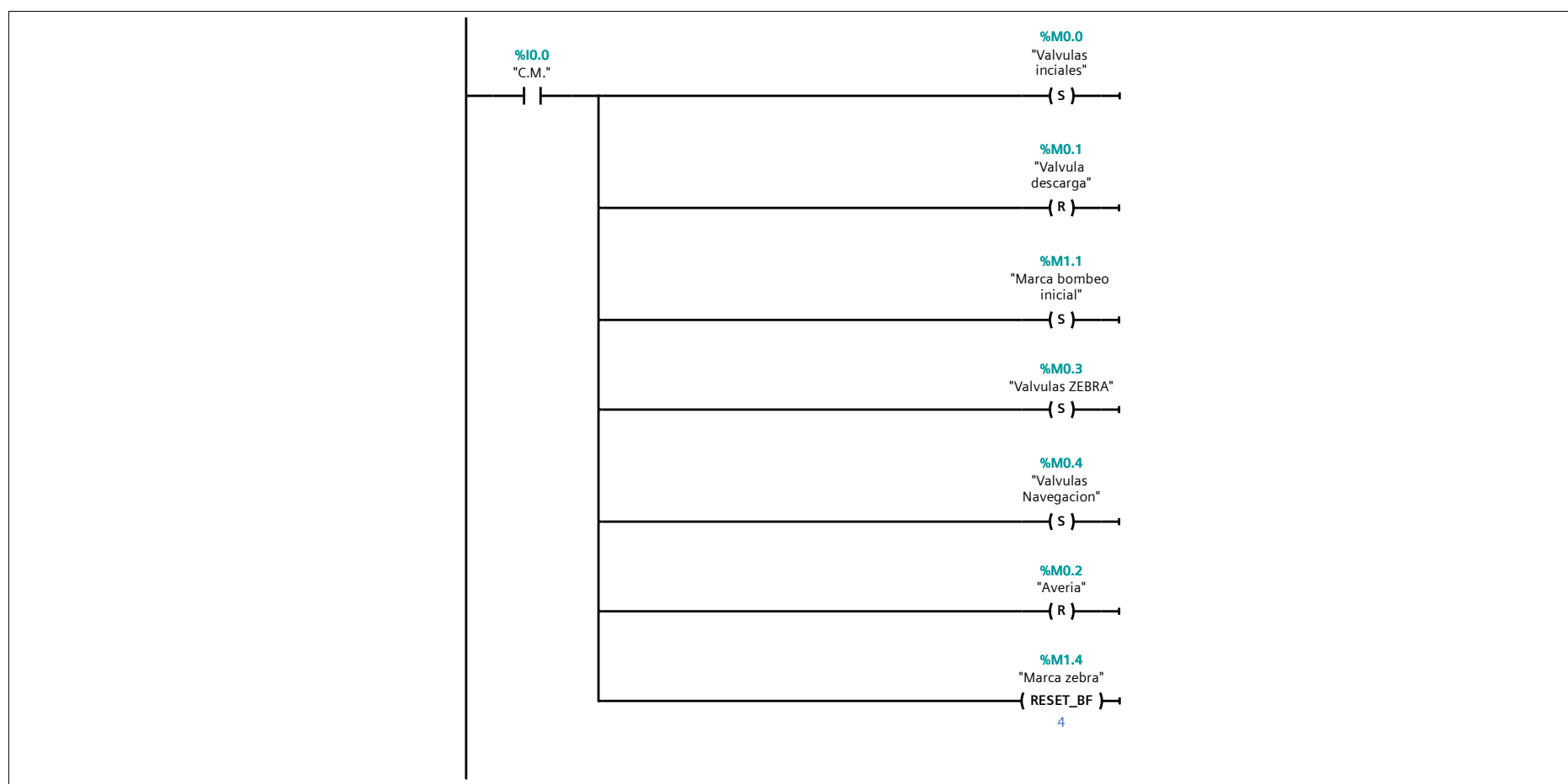
Línea ejecuada una vez encendido el plc para asegurar que no existen marcas activadas



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Primer ciclo"	%M4.0	Bool	
"Valvulas iniciales"	%M0.0	Bool	

Segmento 2: Condiciones iniciales

Pulsando la condición de marcha se abren las válvulas excepto la de descarga permitiendo el cebado

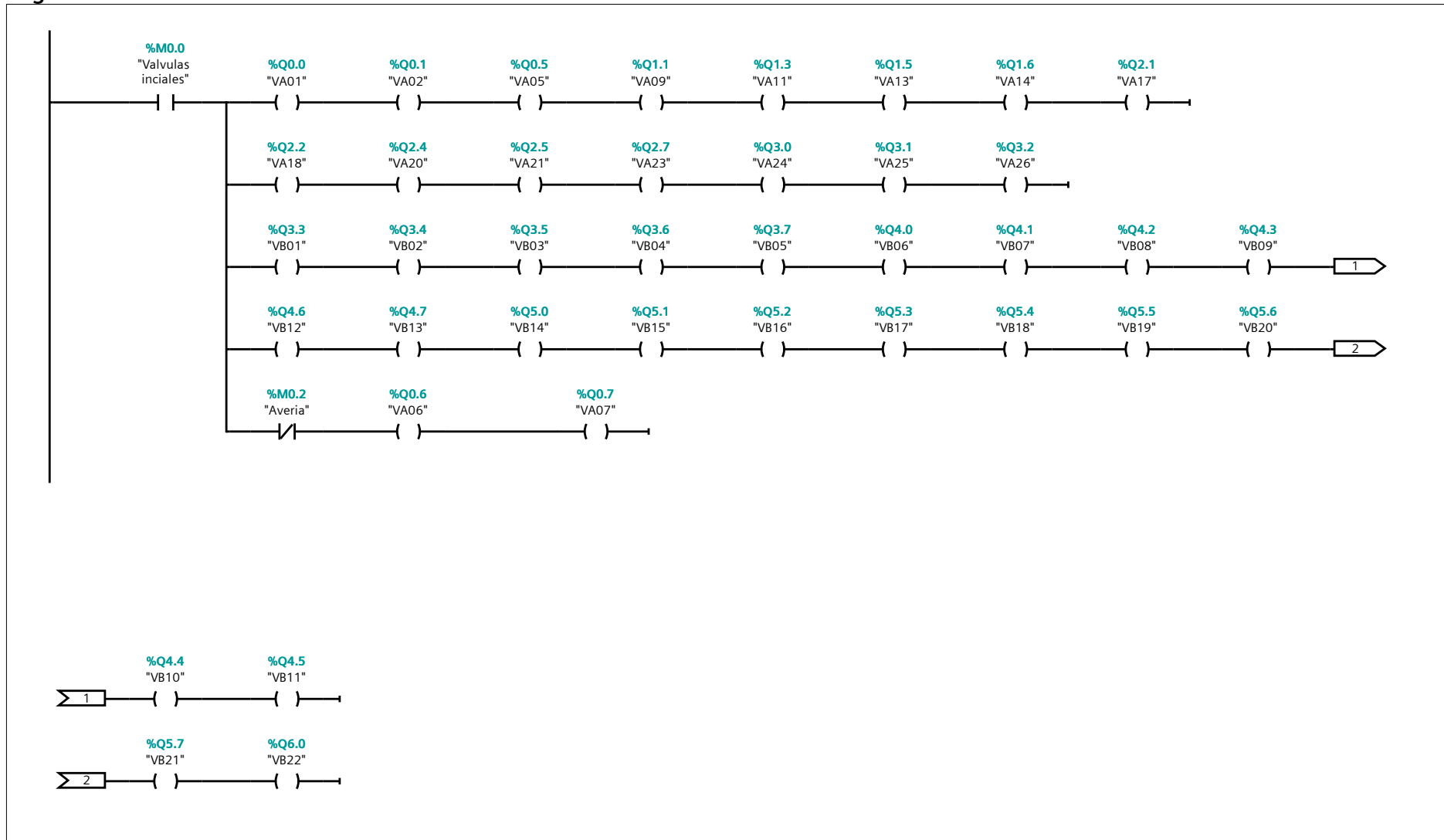


Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia"	%M0.2	Bool	
"C.M."	%I0.0	Bool	
"Marca bombeo inicial"	%M1.1	Bool	
"Marca zebra"	%M1.4	Bool	
"Valvula descarga"	%M0.1	Bool	
"Valvulas iniciales"	%M0.0	Bool	
"Valvulas Navegacion"	%M0.4	Bool	
"Valvulas ZEBRA"	%M0.3	Bool	

Segmento 3: Válvulas iniciales

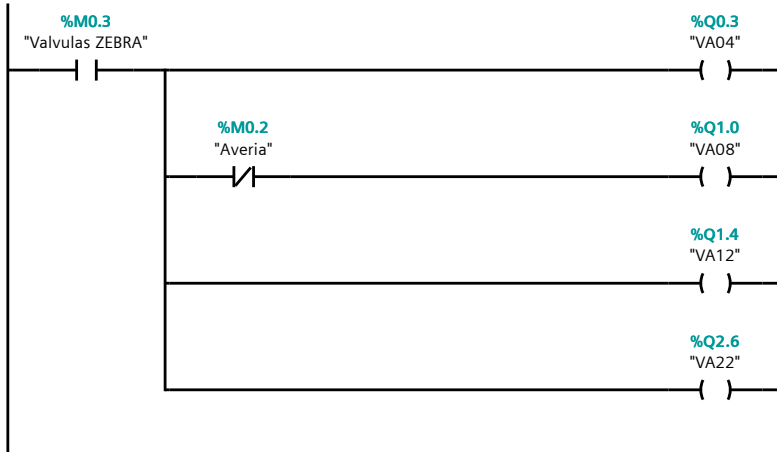
Se indican las valvulas que se abrirán cuando se active dicha marca y los equipos 1 y 2 necesarios para llenar el colector

Segmento 3: Válvulas iniciales



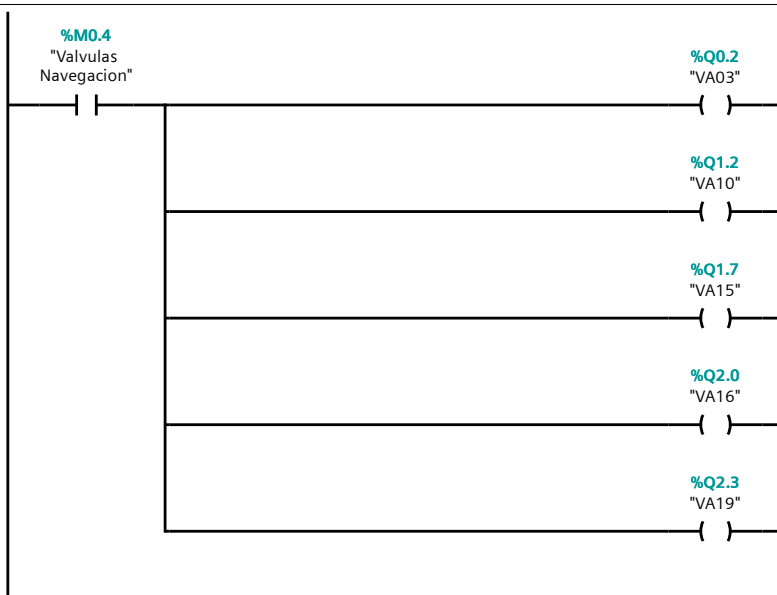
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia"	%M0.2	Bool	
"VA01"	%Q0.0	Bool	
"VA02"	%Q0.1	Bool	
"VA05"	%Q0.5	Bool	
"VA06"	%Q0.6	Bool	
"VA07"	%Q0.7	Bool	
"VA09"	%Q1.1	Bool	
"VA11"	%Q1.3	Bool	
"VA13"	%Q1.5	Bool	
"VA14"	%Q1.6	Bool	
"VA17"	%Q2.1	Bool	
"VA18"	%Q2.2	Bool	
"VA20"	%Q2.4	Bool	
"VA21"	%Q2.5	Bool	
"VA23"	%Q2.7	Bool	
"VA24"	%Q3.0	Bool	
"VA25"	%Q3.1	Bool	
"VA26"	%Q3.2	Bool	
"Valvulas iniciales"	%M0.0	Bool	
"VB01"	%Q3.3	Bool	
"VB02"	%Q3.4	Bool	
"VB03"	%Q3.5	Bool	
"VB04"	%Q3.6	Bool	
"VB05"	%Q3.7	Bool	
"VB06"	%Q4.0	Bool	
"VB07"	%Q4.1	Bool	
"VB08"	%Q4.2	Bool	
"VB09"	%Q4.3	Bool	
"VB10"	%Q4.4	Bool	
"VB11"	%Q4.5	Bool	
"VB12"	%Q4.6	Bool	
"VB13"	%Q4.7	Bool	
"VB14"	%Q5.0	Bool	
"VB15"	%Q5.1	Bool	
"VB16"	%Q5.2	Bool	
"VB17"	%Q5.3	Bool	
"VB18"	%Q5.4	Bool	
"VB19"	%Q5.5	Bool	
"VB20"	%Q5.6	Bool	
"VB21"	%Q5.7	Bool	
"VB22"	%Q6.0	Bool	

Segmento 4: Válvulas cond. ZEBRA



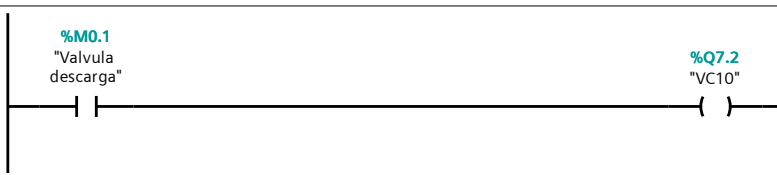
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia"	%M0.2	Bool	
"VA04"	%Q0.3	Bool	
"VA08"	%Q1.0	Bool	
"VA12"	%Q1.4	Bool	
"VA22"	%Q2.6	Bool	
"Valvulas ZEBRA"	%M0.3	Bool	

Segmento 5: Válvulas cond. Navegación



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"VA03"	%Q0.2	Bool	
"VA10"	%Q1.2	Bool	
"VA15"	%Q1.7	Bool	
"VA16"	%Q2.0	Bool	
"VA19"	%Q2.3	Bool	
"Valvulas Navegacion"	%M0.4	Bool	

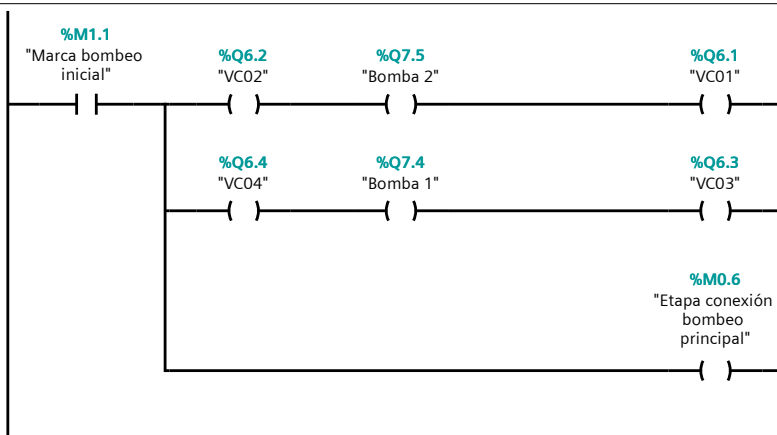
Segmento 6: Válvulas descarga



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Valvula descarga"	%M0.1	Bool	
"VC10"	%Q7.2	Bool	

Segmento 7: Cebado del sistema

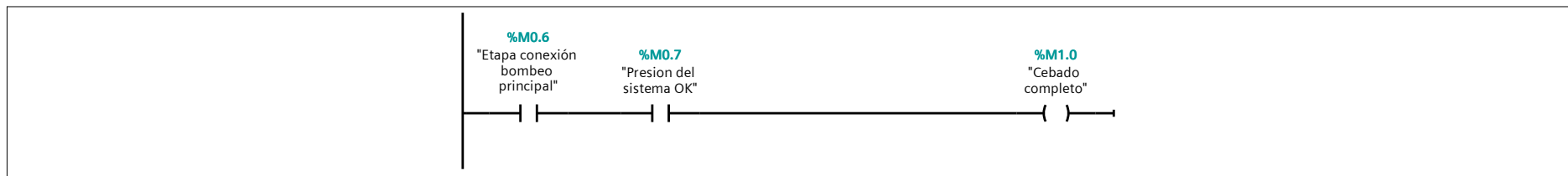
Conexion de los equipos principales de bombeo (1 y 2)



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Bomba 1"	%Q7.4	Bool	
"Bomba 2"	%Q7.5	Bool	
"Etapa conexión bombeo principal"	%M0.6	Bool	
"Marca bombeo inicial"	%M1.1	Bool	

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"VC01"	%Q6.1	Bool	
"VC02"	%Q6.2	Bool	
"VC03"	%Q6.3	Bool	
"VC04"	%Q6.4	Bool	

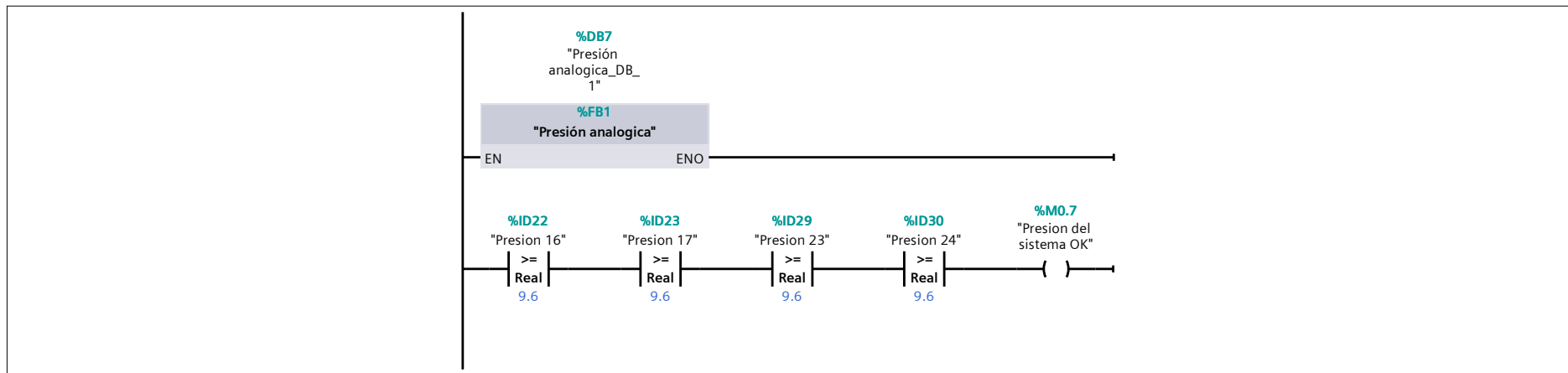
Segmento 8: Comprobación de valvulas iniciales



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Cebado completo"	%M1.0	Bool	
"Etapa conexión bombeo principal"	%M0.6	Bool	
"Presion del sistema OK"	%M0.7	Bool	

Segmento 9: "Sensores iniciales"

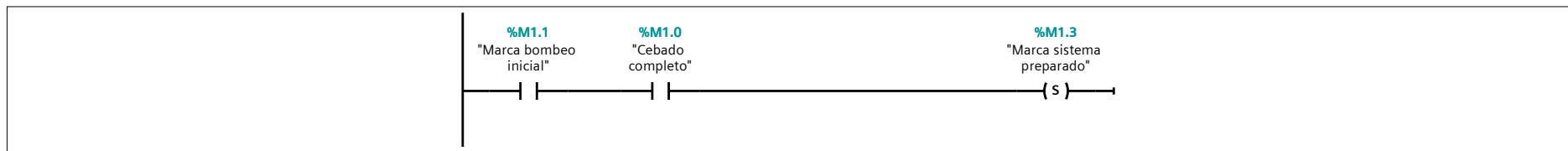
Listado de sensores a comprobar para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, se utiliza un sensor por cada posible zona independiente del sistema.



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Presion 16"	%ID22	Real	
"Presion 17"	%ID23	Real	
"Presion 23"	%ID29	Real	
"Presion 24"	%ID30	Real	
"Presion del sistema OK"	%M0.7	Bool	

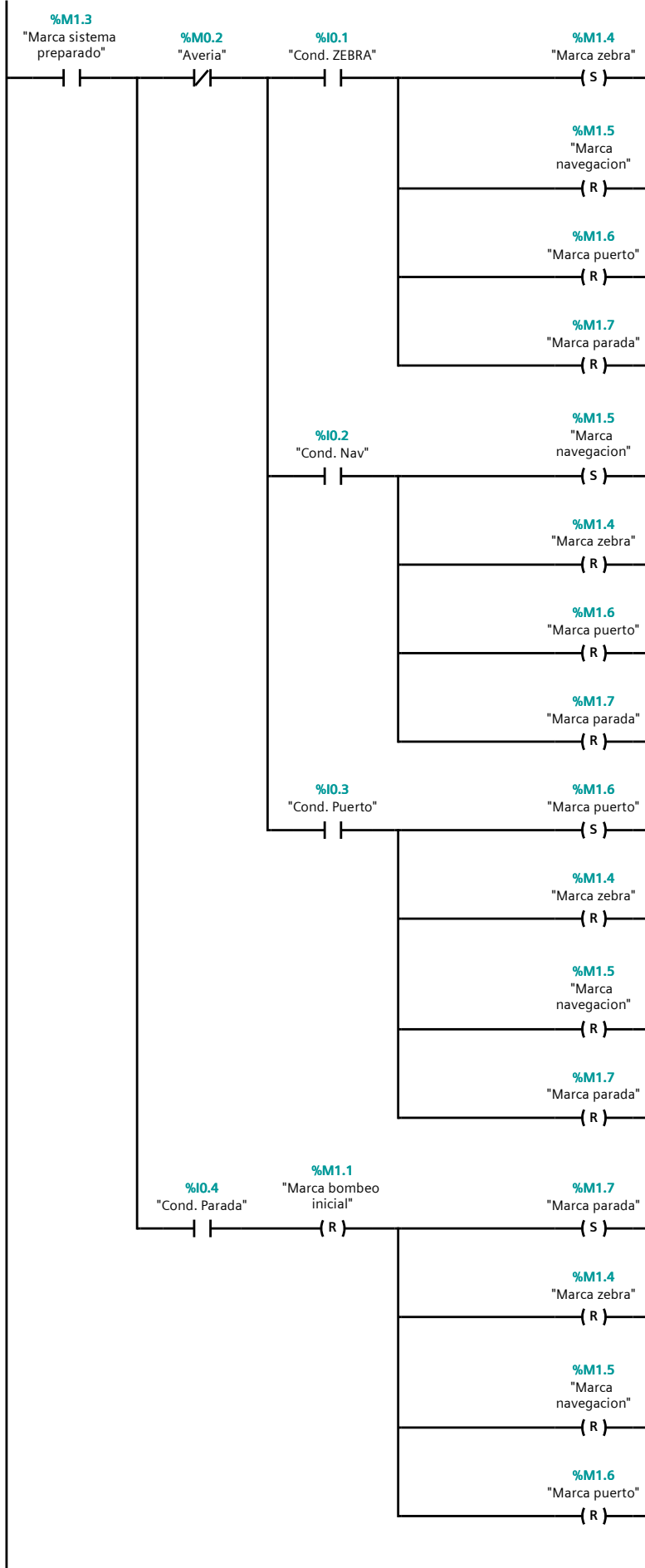
Segmento 10: Sistema con valvulas abiertas, bombeo conectado y presión en todos los tramos

A partir de este punto debemos indicar la condición deseada para la operación del sistema



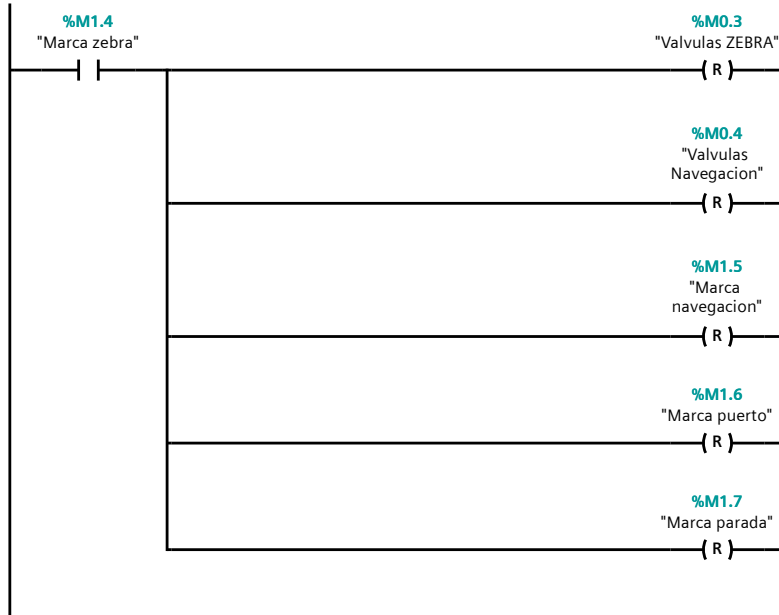
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Cebado completo"	%M1.0	Bool	
"Marca bombeo inicial"	%M1.1	Bool	
"Marca sistema preparado"	%M1.3	Bool	

Segmento 11: Selector de condición



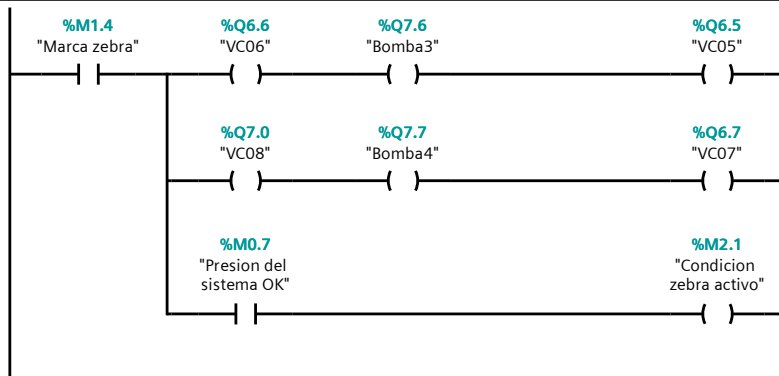
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia"	%M0.2	Bool	
"Cond. Nav"	%I0.2	Bool	
"Cond. Parada"	%I0.4	Bool	
"Cond. Puerto"	%I0.3	Bool	
"Cond. ZEBRA"	%I0.1	Bool	
"Marca bombeo inicial"	%M1.1	Bool	
"Marca navegacion"	%M1.5	Bool	
"Marca parada"	%M1.7	Bool	
"Marca puerto"	%M1.6	Bool	
"Marca sistema preparado"	%M1.3	Bool	
"Marca zebra"	%M1.4	Bool	

Segmento 12: Condición ZEBRA



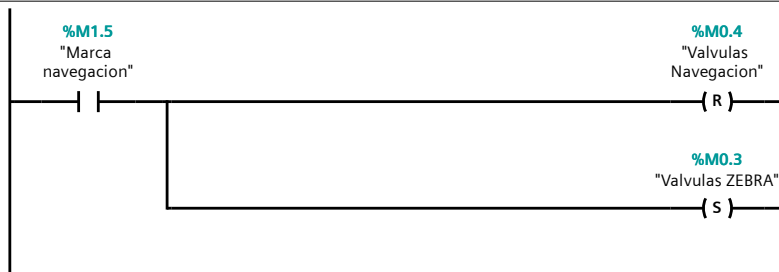
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca navegacion"	%M1.5	Bool	
"Marca parada"	%M1.7	Bool	
"Marca puerto"	%M1.6	Bool	
"Marca zebra"	%M1.4	Bool	
"Valvulas Navegacion"	%M0.4	Bool	
"Valvulas ZEBRA"	%M0.3	Bool	

Segmento 13: Reestablecer caudal ZEBRA y comprobación



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Bomba3"	%Q7.6	Bool	
"Bomba4"	%Q7.7	Bool	
"Condicion zebra activo"	%M2.1	Bool	
"Marca zebra"	%M1.4	Bool	
"Presion del sistema OK"	%M0.7	Bool	
"VC05"	%Q6.5	Bool	
"VC06"	%Q6.6	Bool	
"VC07"	%Q6.7	Bool	
"VC08"	%Q7.0	Bool	

Segmento 14: Condición de Navegación



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca navegacion"	%M1.5	Bool	
"Valvulas Navegacion"	%M0.4	Bool	
"Valvulas ZEBRA"	%M0.3	Bool	

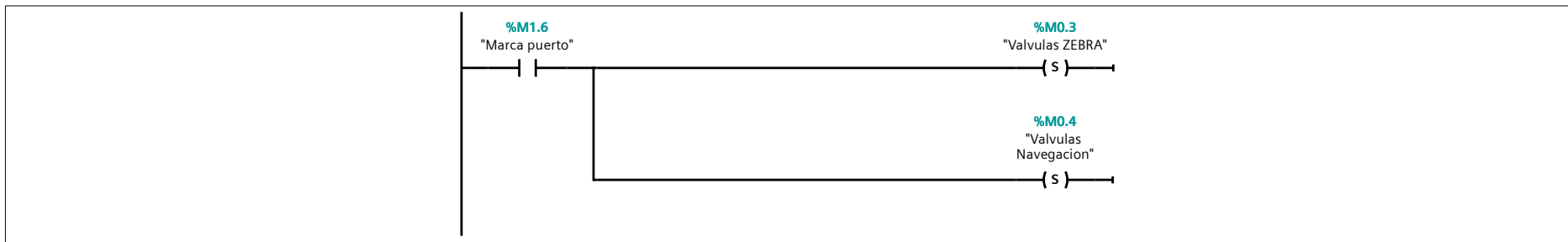
Segmento 15: Reestablecer caudal Navegación y comprobación

Los equipos de bombeo 1 y 2 ya están activos por lo que no sería necesario modificar el bombeo



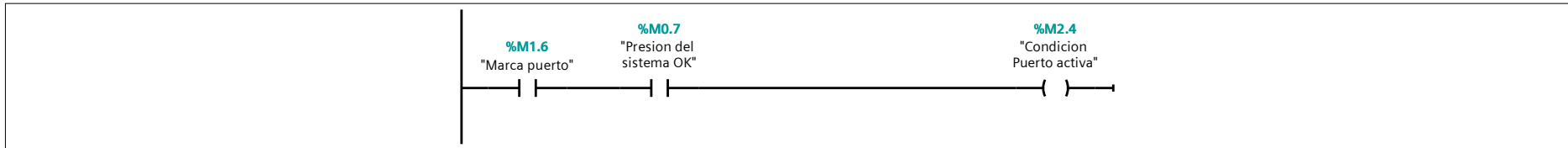
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Condicion Navegacion activa"	%M2.3	Bool	
"Marca navegacion"	%M1.5	Bool	
"Presion del sistema OK"	%M0.7	Bool	

Segmento 16: Condición de puerto



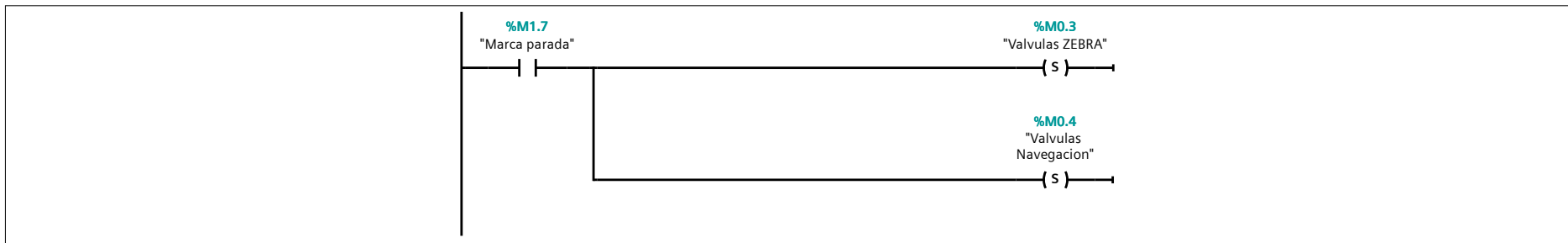
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca puerto"	%M1.6	Bool	
"Valvulas Navegacion"	%M0.4	Bool	
"Valvulas ZEBRA"	%M0.3	Bool	

Segmento 17: Comprobación de la condición de puerto



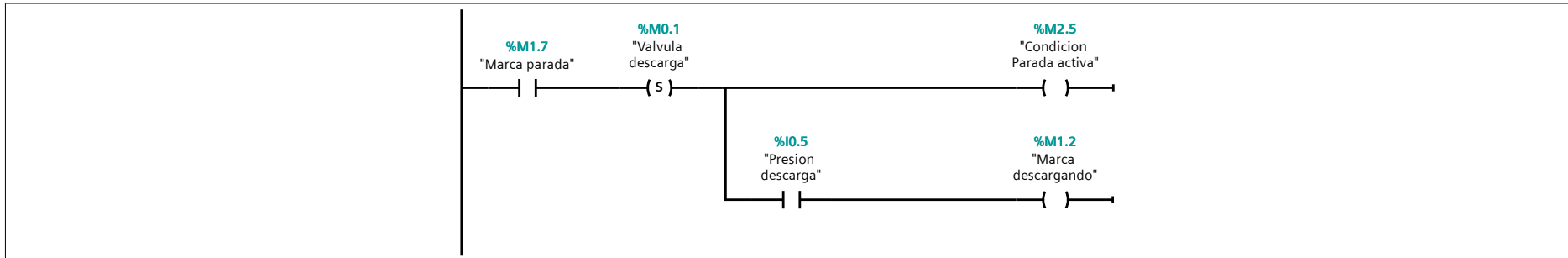
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Condicion Puerto activa"	%M2.4	Bool	
"Marca puerto"	%M1.6	Bool	
"Presion del sistema OK"	%M0.7	Bool	

Segmento 18: Condición de parada



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca parada"	%M1.7	Bool	
"Valvulas Navegacion"	%M0.4	Bool	
"Valvulas ZEBRA"	%M0.3	Bool	

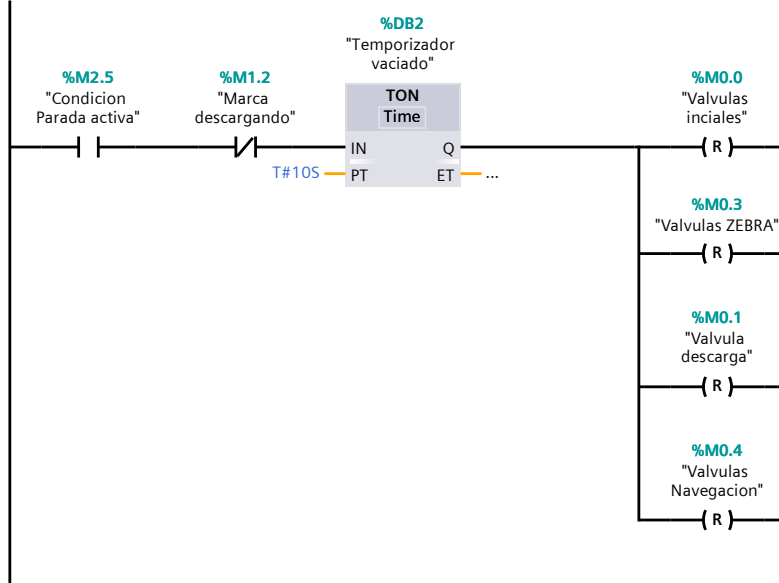
Segmento 19: Comprobación del estado de reposo



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Condicion Parada activa"	%M2.5	Bool	
"Marca descargando"	%M1.2	Bool	
"Marca parada"	%M1.7	Bool	
"Presion descarga"	%I0.5	Bool	
"Valvula descarga"	%M0.1	Bool	

Segmento 20: Estado de reposo

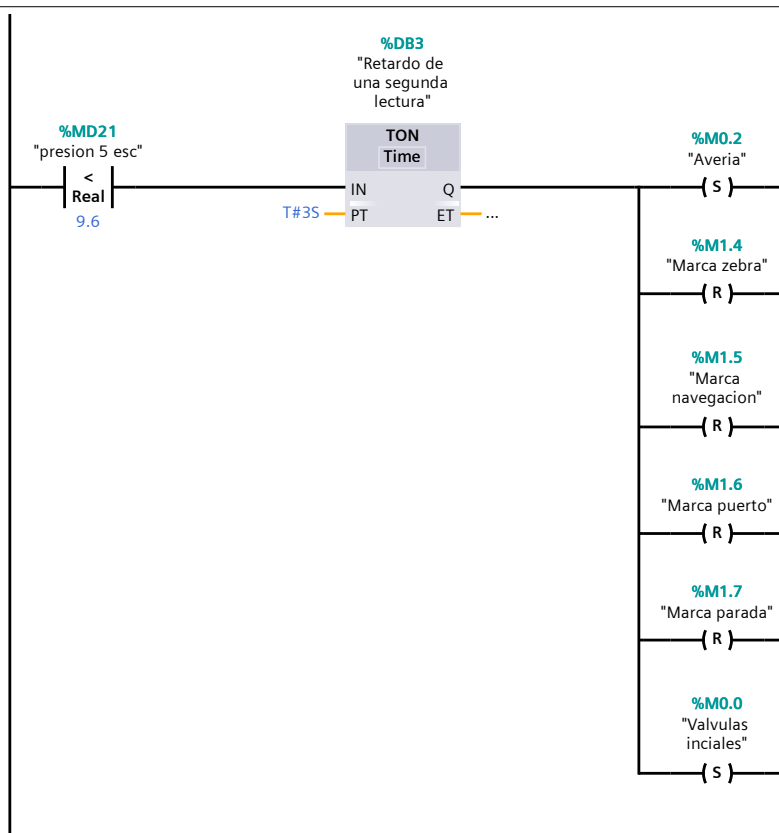
Línea destinada a dejar el sistema en posición de reposo



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Condicion Parada activa"	%M2.5	Bool	
"Marca descargando"	%M1.2	Bool	
"Valvula descarga"	%M0.1	Bool	
"Valvulas iniciales"	%M0.0	Bool	
"Valvulas Navegacion"	%M0.4	Bool	
"Valvulas ZEBRA"	%M0.3	Bool	

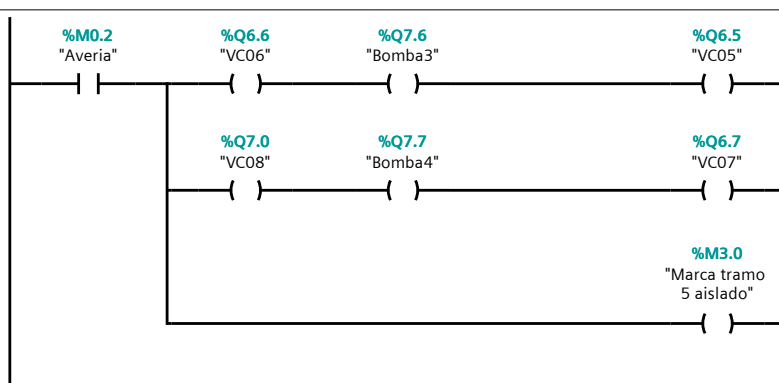
Segmento 21: Avería

Caso de avería 5



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia"	%M0.2	Bool	
"Marca navegacion"	%M1.5	Bool	
"Marca parada"	%M1.7	Bool	
"Marca puerto"	%M1.6	Bool	
"Marca zebra"	%M1.4	Bool	
"presion 5 esc"	%MD21	Real	
"Valvulas iniciales"	%M0.0	Bool	

Segmento 22: Acción ante el fallo 5



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia"	%M0.2	Bool	
"Bomba3"	%Q7.6	Bool	
"Bomba4"	%Q7.7	Bool	
"Marca tramo 5 aislado"	%M3.0	Bool	
"VC05"	%Q6.5	Bool	
"VC06"	%Q6.6	Bool	
"VC07"	%Q6.7	Bool	

Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"VC08"	%Q7.0	Bool	

Segmento 23: Comprobación de problema solventado

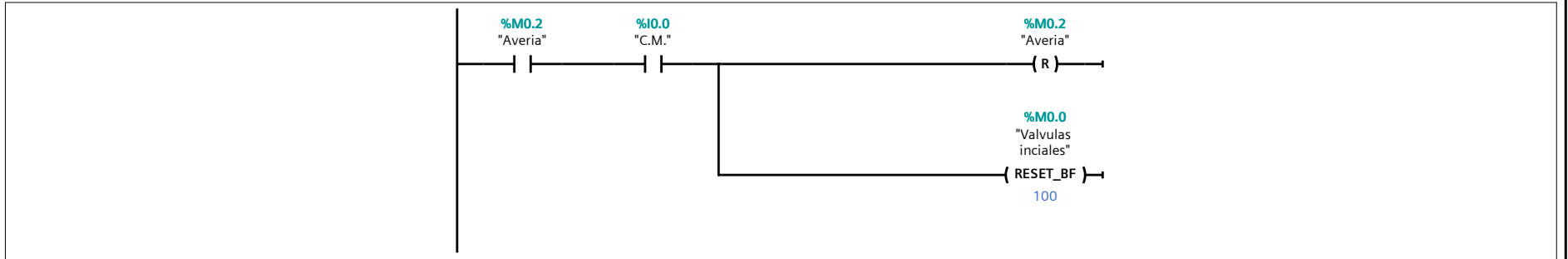
Una vez reparada la avería, basta con pulsar C.M para regresar al modo de operación indicado en el selector



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia solventada"	%M3.1	Bool	
"Marca tramo 5 aislado"	%M3.0	Bool	
"Presion del sistema OK"	%M0.7	Bool	

Segmento 24: Rearme















































Se rearmará el sistema una vez solventada la avería pulsando CM




































































Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Averia"	%M0.2	Bool	
"C.M."	%I0.0	Bool	
"Valvulas iniciales"	%M0.0	Bool	

Alejandro Tizón Final-agosto 3 [V13] / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Variables PLC

Tabla de variables estándar [163]

Variables PLC							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
	VA01	Bool	%Q0.0	False	True	True	
	VA02	Bool	%Q0.1	False	True	True	
	VA03	Bool	%Q0.2	False	True	True	
	VA04	Bool	%Q0.3	False	True	True	
	VA05	Bool	%Q0.5	False	True	True	
	VA06	Bool	%Q0.6	False	True	True	
	VA07	Bool	%Q0.7	False	True	True	
	VA08	Bool	%Q1.0	False	True	True	
	VA09	Bool	%Q1.1	False	True	True	
	VA10	Bool	%Q1.2	False	True	True	
	VA11	Bool	%Q1.3	False	True	True	
	VA12	Bool	%Q1.4	False	True	True	
	VA13	Bool	%Q1.5	False	True	True	
	VA14	Bool	%Q1.6	False	True	True	
	VA15	Bool	%Q1.7	False	True	True	
	VA16	Bool	%Q2.0	False	True	True	
	VA17	Bool	%Q2.1	False	True	True	
	VA18	Bool	%Q2.2	False	True	True	
	VA19	Bool	%Q2.3	False	True	True	
	VA20	Bool	%Q2.4	False	True	True	
	VA21	Bool	%Q2.5	False	True	True	
	VA22	Bool	%Q2.6	False	True	True	
	VA23	Bool	%Q2.7	False	True	True	
	VA24	Bool	%Q3.0	False	True	True	
	VA25	Bool	%Q3.1	False	True	True	
	VA26	Bool	%Q3.2	False	True	True	
	VB01	Bool	%Q3.3	False	True	True	
	VB02	Bool	%Q3.4	False	True	True	
	VB03	Bool	%Q3.5	False	True	True	
	VB04	Bool	%Q3.6	False	True	True	
	VB05	Bool	%Q3.7	False	True	True	
	VB06	Bool	%Q4.0	False	True	True	
	VB07	Bool	%Q4.1	False	True	True	
	VB08	Bool	%Q4.2	False	True	True	
	VB09	Bool	%Q4.3	False	True	True	
	VB10	Bool	%Q4.4	False	True	True	
	VB11	Bool	%Q4.5	False	True	True	
	VB12	Bool	%Q4.6	False	True	True	
	VB13	Bool	%Q4.7	False	True	True	
	VB14	Bool	%Q5.0	False	True	True	
	VB15	Bool	%Q5.1	False	True	True	
	VB16	Bool	%Q5.2	False	True	True	
	VB17	Bool	%Q5.3	False	True	True	
	VB18	Bool	%Q5.4	False	True	True	
	VB19	Bool	%Q5.5	False	True	True	
	VB20	Bool	%Q5.6	False	True	True	
	VB21	Bool	%Q5.7	False	True	True	
	VB22	Bool	%Q6.0	False	True	True	
	VC01	Bool	%Q6.1	False	True	True	
	VC02	Bool	%Q6.2	False	True	True	
	VC03	Bool	%Q6.3	False	True	True	
	VC04	Bool	%Q6.4	False	True	True	
	VC05	Bool	%Q6.5	False	True	True	
	VC06	Bool	%Q6.6	False	True	True	
	VC07	Bool	%Q6.7	False	True	True	
	VC08	Bool	%Q7.0	False	True	True	
	VC09	Bool	%Q7.1	False	True	True	
	VC10	Bool	%Q7.2	False	True	True	
	VC11	Bool	%Q7.3	False	True	True	

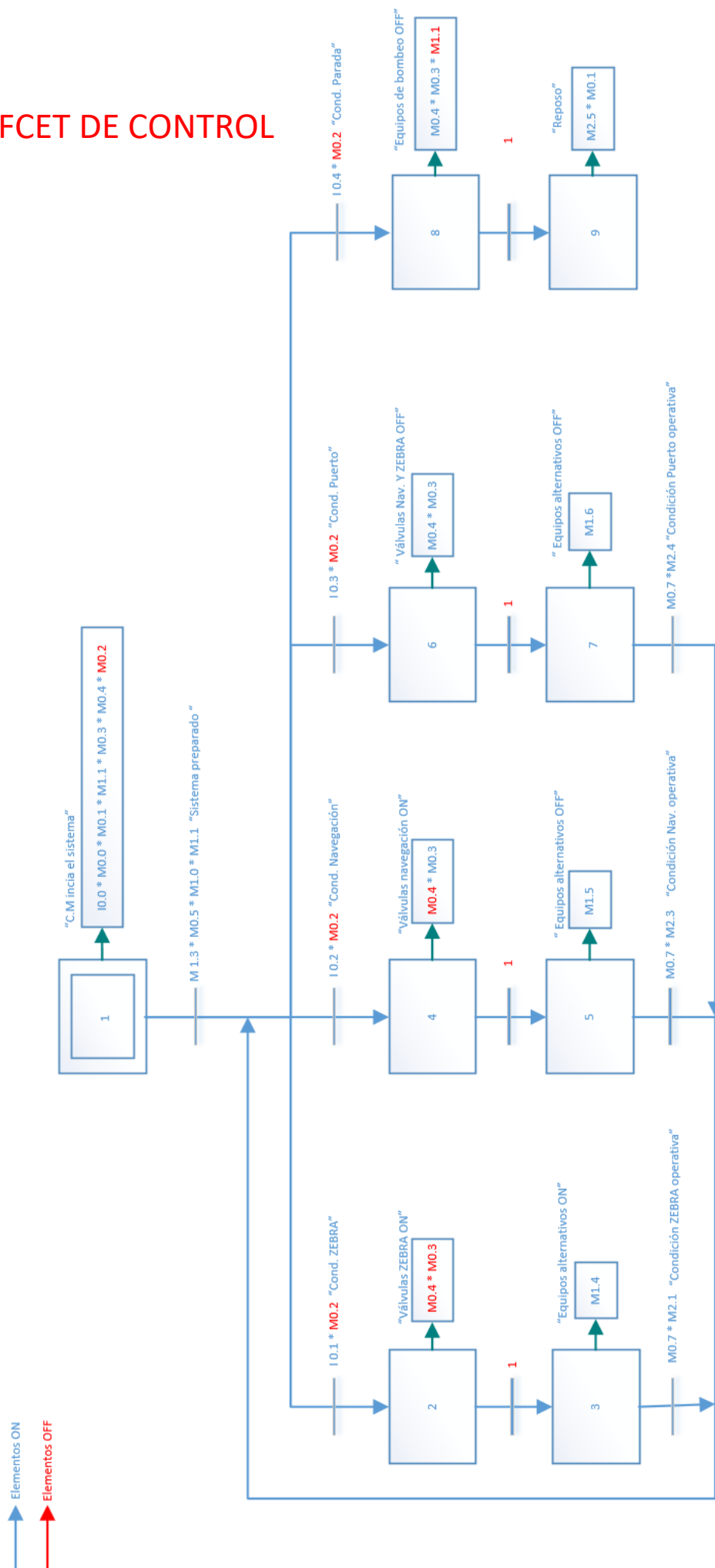
Totally Integrated Automation Portal								
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario	
	C.M.	Bool	%I0.0	False	True	True		
	Valvulas iniciales	Bool	%M0.0	False	True	True		
	Valvula descarga	Bool	%M0.1	False	True	True		
	Cond. ZEBRA	Bool	%I0.1	False	True	True		
	Cond. Nav	Bool	%I0.2	False	True	True		
	Cond. Puerto	Bool	%I0.3	False	True	True		
	Cond. Parada	Bool	%I0.4	False	True	True		
	Averia	Bool	%M0.2	False	True	True		
	Valvulas ZEBRA	Bool	%M0.3	False	True	True		
	Valvulas Navegacion	Bool	%M0.4	False	True	True		
	Bomba 1	Bool	%Q7.4	False	True	True		
	Bomba 2	Bool	%Q7.5	False	True	True		
	Bomba3	Bool	%Q7.6	False	True	True		
	Bomba4	Bool	%Q7.7	False	True	True		
	Presion 5	Real	%ID20	False	True	True		
	Presion 1	Real	%ID47	False	True	True		
	Presion 2	Real	%ID48	False	True	True		
	Presion 3	Real	%ID49	False	True	True		
	Presion 4	Real	%ID50	False	True	True		
	Presion 6	Real	%ID51	False	True	True		
	Presion 7	Real	%ID52	False	True	True		
	Presion 8	Real	%ID53	False	True	True		
	Presion 9	Real	%ID54	False	True	True		
	Presion 10	Real	%ID55	False	True	True		
	Presion 11	Real	%ID56	False	True	True		
	Presion 12	Real	%ID57	False	True	True		
	Presion 13	Real	%ID58	False	True	True		
	Presion 14	Real	%ID59	False	True	True		
	Presion 15	Real	%ID60	False	True	True		
	Presion 16	Real	%ID22	False	True	True		
	Presion 17	Real	%ID23	False	True	True		
	Presion 18	Real	%ID24	False	True	True		
	Presion 19	Real	%ID25	False	True	True		
	Presion 20	Real	%ID26	False	True	True		
	Presion 21	Real	%ID27	False	True	True		
	Presion 22	Real	%ID28	False	True	True		
	Presion 23	Real	%ID29	False	True	True		
	Presion 24	Real	%ID30	False	True	True		
	Presion 25	Real	%ID31	False	True	True		
	Presion 26	Real	%ID32	False	True	True		
	Presion 27	Real	%ID33	False	True	True		
	Presion 28	Real	%ID34	False	True	True		
	Presion 29	Real	%ID35	False	True	True		
	Presion 30	Real	%ID36	False	True	True		
	Presion 31	Real	%ID37	False	True	True		
	Presion 32	Real	%ID38	False	True	True		
	Presion 33	Real	%ID39	False	True	True		
	Presion 34	Real	%ID40	False	True	True		
	Presion 35	Real	%ID41	False	True	True		
	Presion 36	Real	%ID42	False	True	True		
	Presion 37	Real	%ID43	False	True	True		
	Presion 38	Real	%ID44	False	True	True		
	Presion 39	Real	%ID45	False	True	True		
	Presion 40	Real	%ID46	False	True	True		
	Cebado completo	Bool	%M1.0	False	True	True		
	Etapas conexión bombeo principal	Bool	%M0.6	False	True	True		
	Presion del sistema OK	Bool	%M0.7	False	True	True		
	Marca bombeo inicial	Bool	%M1.1	False	True	True		
	Presion descarga	Bool	%I0.5	False	True	True		
	Marca descargando	Bool	%M1.2	False	True	True		
	Marca sistema preparado	Bool	%M1.3	False	True	True		
	Marca zebra	Bool	%M1.4	False	True	True		
	Marca navegacion	Bool	%M1.5	False	True	True		
	Marca puerto	Bool	%M1.6	False	True	True		

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
	Marca parada	Bool	%M1.7	False	True	True	
	Condicion zebra activo	Bool	%M2.1	False	True	True	
	Condicion Navegacion activa	Bool	%M2.3	False	True	True	
	Condicion Puerto activa	Bool	%M2.4	False	True	True	
	Condicion Parada activa	Bool	%M2.5	False	True	True	
	Marca tramo 5 aislado	Bool	%M3.0	False	True	True	
	Averia solventada	Bool	%M3.1	False	True	True	
	presion 5 norm	Real	%MD20	False	True	True	
	presion 5 esc	Real	%MD21	False	True	True	
	presion 16 norm	Real	%MD26	False	True	True	
	presion 16 esc	Real	%MD30	False	True	True	
	presion 17 norm	Real	%MD34	False	True	True	
	presion 17 esc	Real	%MD38	False	True	True	
	presion 23 norm	Real	%MD42	False	True	True	
	presion 23 esc	Real	%MD46	False	True	True	
	presion 24 norm	Real	%MD50	False	True	True	
	presion 24 esc	Real	%MD54	False	True	True	
	Primer ciclo	Bool	%M4.0	False	True	True	
	marca fase reposo	Bool	%M4.1	False	True	True	

17 ANEXO III

GRAF CET

GRAFICET DE CONTROL



GRAFICET DE AVERIA DEL SISTEMA

