



# **GESTIÓN DE ALARMAS DE PROCESO EN UNA PLANTA DE PEBD SEGÚN MODO DE OPERACIÓN: ARRANQUES Y PARADAS**

Trabajo de Fin de Grado

**Identificador:** TFGEQ\_2102\_satoneva

**Nombre:** Simona Atanasova Toneva

**Tutor técnico externo:** Rubén Grasa Abances

**Empresa colaboradora:** Repsol, S.A.

**Tutor académico:** Luca Sanminiattelli Salas

**Grado:** Ingeniería química

Tarragona, junio de 2021



**Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.**

**Vist i plau pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.**

TÍTOL DEL TFGEQ: GESTIÓN DE ALARMAS DE PROCESO EN UNA PLANTA DE PEBD SEGÚN MODO DE OPERACIÓN: ARRANQUES Y PARADAS

SUBTÍTOL .....

**SIMONA ATANASOVA TONEVA**

AUTOR: .....

CURS ACADÈMIC: 4t.....

**VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC**

En/Na LUCA SANMINIATELLI SALAS.....

en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera que el TFGEQ

és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa

no en recomana la defensa per presentar les mancances exposades en el document annex

Signatura:

**luca.sanminiate  
lli@repsol.com**

Firmado digitalmente por  
luca.sanminiatelli@repsol.com  
Nombre de reconocimiento (DN):  
cn=luca.sanminiatelli@repsol.com  
Fecha: 2021.06.07 08:48:19 +02'00'

Data: 07/06/2021

**DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT**

En/Na RUBÉN GRASA ABANCES....., en la seva capacitat de supervisor extern<sup>(\*)</sup> del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa REPSOL, S.A......

<sup>(\*)</sup> Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció

Signatura:

**GRASA ABANCES,  
RUBEN**

Firmado digitalmente por  
GRASA ABANCES, RUBEN  
Fecha: 2021.06.07  
10:02:34 +02'00'

Data:



*Este proyecto ha sido una gran inmersión en el mundo laboral para mí, me siento muy afortunada de haberlo realizado con la colaboración de esta empresa.*

*A mis padres, que nunca entendían mi jerga técnica pero siempre sabían leer mi estado de ánimo y darme ánimos, darme la enhorabuena o darme una castaña a tiempo. Para ellos este proyecto culmina su mayor deseo y orgullo, ver a su hija con el dichoso título que tanto ha costado, y que esperan con muchas ansias (pero con menos ansias que la foto con birrete).*

*Alex y Nuria también reciben sus dichosos títulos, y eso se merece una mención especial. Ellos sí que entendían mi palabrerío técnico, pero tampoco se lo solía contar, bastante tienen con aguantar mis quejas y sacarme a por una cerveza cuando me escaqueo.*

*Aleix, siempre te quejas de que doy las gracias demasiado, aquí te consta por escrito por si algún día se me olvida agradecerte todo. Espero que llegue el día en que me encuentre este archivo con nostalgia en alguna caótica carpeta de la carrera y leerlo en nuestro sofá.*

*A Oriol, mi tutor “no oficial” acompañándome en cada tarea con mucha paciencia en mis peleas con un sistema de control que doblaba mi edad y a Luca, por darme siempre los consejos con truco para hacer una memoria apta para todos los públicos y gustos.*

*A todos los compañeros y amigos que me llevo de mi estancia en la empresa, sobre todo a los que me traían café por las mañanas.*



## Abstract

Technology has evolved really fast in the last years, increasing the automation and easy control in the industries, but this evolution is ending up in an overwhelming amount of information on the control panels, that distracts and stresses the operators draining their attention and becomes counter-productive.

An alarm is a visual and auditory warning of an abnormal operation condition, a process deviation or a functioning error that **needs to be addressed** by an operator. It is key to acknowledge that they should not be used as an information source and that if a situation does not require a mitigating action, it is not an alarm.

The enormous amount of useless alarms (e.g. alarms that are repetitive and annoying due to fluctuations on the operation conditions, multiple alarms that show the same abnormal situations and become redundant, alarms that do not require a mitigation or are not relevant, etc.) decreases the operators' attention and make them systematically ignore the alarms due the short period of time in between them. A poorly functioning alarm system has been proved to be a contributing factor to incidents and major accidents, that's why alarm management is extremely necessary.

This project gathers and analyzes the situations that cause most of the alarm floods in a low-density polyethylene plant: the stops and the start-ups, containing hundreds of alarms that are not considered off-normal in those specific cases, like low temperatures and pressures. The alarms are then classified by the equipment or plant zone they belong to.

There are lots of methods to solve bad actors (deficient alarms) depending on the problem (intermittences, permanent alarms, floods...) usually based on time delays for activation or deactivation, really useful when talking about the treatment of individual alarms. As this project addresses operation modes that contain large groups of alarms, the main used method consists in the implementation of dynamic alarm suppression.

A dynamic alarm suppression mutes a whole group of alarms called targets based on the change of some operation state -or the activation of some alarms- called triggers. This tool is not only useful for stops and start-ups but for every industrial plants that has more than one operation mode: batch plants, plants that change their recipe and readapt the conditions to product, etc.

This project considers the configuration of a main dynamic alarm suppression application based on the stop of the plant and other individual dynamics for the equipment which stop and start-up does not necessarily depend on the stopping order of the plant, with the goal to reduce at least half of the alarms present in the stops and start-ups, and improve the plant general monthly KPIs by a 5%.



## TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	PLANIFICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO .....	2
2.1.	Planificación temporal .....	2
2.2.	Alcance del proyecto.....	3
3.	CONTEXTO Y METODOLOGÍAS.....	4
3.1.	Sistema de control actual: TDC-3000 .....	4
3.2.	Herramientas de consulta .....	6
3.2.1.	<i>InfoPlus</i> .....	6
3.2.2.	DOC4000 .....	7
3.3.	Normativa ISA 18.2 .....	7
3.3.1.	Documentación y racionalización de alarmas (D&R) .....	8
3.4.	Filosofía y gestión de alarmas.....	10
3.4.1.	¿Qué son las alarmas? .....	10
3.4.2.	Métodos de tratamiento de <i>Bad Actors</i> .....	11
3.4.3.	Funciones de optimización de alarmas .....	12
3.5.	Dinámicas de alarmas .....	14
3.5.1.	<i>Dynamic Alarm Suppression</i> (DAS) en un entorno <i>Experion</i> .....	15
3.6.	<i>Software</i> interno de gestión de alarmas.....	16
3.7.	Migración de los gráficos HMI ( <i>Human Machine Interfaces</i> ).....	17
3.8.	Proceso .....	20
3.8.1.	Descripción del proceso .....	20
3.8.2.	Arranque y parada automáticos.....	23
3.9.	Diagrama de proceso.....	23
4.	ESTUDIO DE LOS ANTECEDENTES Y ALARMAS ACTUALES .....	25
5.	ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE DINÁMICAS DE ALARMAS.....	29
5.1.	Compresor primario y compresor auxiliar .....	30
5.1.1.	Compresor primario .....	31
5.1.2.	Compresor auxiliar.....	34
5.2.	Compresor secundario.....	35
5.2.1.	Presión y temperatura.....	35
5.2.2.	Válvulas de apertura y cierre de aspiración e impulsión.....	38

5.2.3.	Vibraciones de la carcasa y sistema de lubricación .....	38
5.3.	Reactor .....	40
5.3.1.	Bombas de alimentación .....	40
5.3.2.	Agitador .....	41
5.3.3.	Presión.....	42
5.3.4.	Temperatura .....	43
5.3.5.	Altas desviaciones.....	45
5.4.	Extrusión .....	46
5.4.1.	Extrusor principal.....	46
5.4.2.	Cortadora.....	49
5.5.	Separador .....	52
5.6.	Arranque: recuperación de las alarmas de la dinámica principal.....	53
5.6.1.	Alarmas de paro y primeros defectos.....	54
5.6.2.	Interrupciones del arranque.....	54
5.7.	Alarmas de explosividad y discos de rotura.....	56
5.8.	Resumen de las dinámicas .....	57
6.	OTROS TRATAMIENTOS DE ALARMAS.....	58
6.1.	Diagnóstico de <i>Bad Actors</i> y propuestas de mejora.....	58
6.2.	Discrepancias entre alarmas gemelas.....	60
7.	IMPLEMENTACIÓN DE LAS DINÁMICAS .....	61
7.1.	Programación en AM.....	61
7.2.	Configuración en DAS.....	63
7.3.	Configuración combinada .....	64
7.4.	<i>Display</i> gráfico mediante HMI .....	66
8.	EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS .....	68
8.1.	Mejoras cuantitativas con la implementación de dinámicas de alarmas.....	69
8.2.	Rendimiento del sistema de alarmas .....	73
8.2.1.	Impacto de las dinámicas sobre el rendimiento .....	73
8.2.2.	Impacto global de las dinámicas y otros tratamientos sobre el rendimiento .....	74
8.3.	Mejoras cualitativas de seguridad .....	76
9.	CONCLUSIONES .....	78
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	79

A.	ANEXOS.....	81
A.1.	Propiedades del etileno y del polietileno de baja densidad.....	82
A.1.1.	Nota técnica del etileno.....	82
A.1.2.	Nota técnica del PEBD .....	83
A.2.	Planificación: diagrama de <i>Gantt</i> .....	84
A.3.	Criterios para la selección de prioridades .....	85
A.4.	Rendimiento de los sistemas de alarmas.....	86
A.5.	KPIs de los sistemas de alarmas .....	87
A.6.	Acciones de gestión de alarmas por parte de un operador.....	88
A.7.	Puertas lógicas elementales.....	89
A.8.	Programa de arranque y parada automáticos .....	94
A.8.1.	Programa de arranque automático .....	94
A.8.2.	Programas de paradas automáticas .....	94
A.9.	Ejemplo de dinámica de supresión de alarmas .....	95
A.9.1.	Lógica en AM .....	95
A.9.2.	Implementación en DAS.....	95
A.10.	Toma de muestras de las alarmas.....	96
A.10.1.	Influencia de los modos de operación sobre el número de alarmas.....	96
A.10.2.	Influencia de las dinámicas sobre el modo de operación.....	98
A.11.	Leyenda de tablas y figuras.....	99



## 1. INTRODUCCIÓN

La tecnología está avanzando a un ritmo exponencial, difícilmente alcanzable por el ser humano. Las facilidades que vienen con la llegada de la tecnología de la información pueden traer consigo desventajas a largo plazo en el ámbito de la comunicación hombre-máquina.

La sobreinformación ha llegado a todos los campos de trabajo con gran implicación tecnológica. Las alarmas han pasado a ser tan abundantes que ya no ayudan a los operadores a la localización de problemas, sino que les distraen y saturan su atención.

Una alarma es un aviso sonoro y/o visual que informa de una condición de operación anormal en una planta química. Las alarmas siempre deben requerir una respuesta de mitigación por parte del operador y nunca deberían ser usadas únicamente para informar.

En este proyecto se localizan todas las alarmas de la planta y se clasifican según su necesidad en diferentes modos de operación y las molestias que puedan ocasionar (como intermitencias o avalanchas).

Los dos modos de operación con más abundancia de alarmas innecesarias son la puesta en marcha y la parada de la planta, contexto en el que disparan muchas alarmas que supondrían una condición anómala para la operación normal, pero que en estos casos indican tendencias normales, como las bajas presiones y temperaturas.

Las alarmas que son seleccionadas como molestas para el arranque y paro de la planta se clasifican en grupos de dependencia (normalmente dependencia a los equipos a los que pertenecen). Cada grupo constituye una dinámica, una supresión temporal de un grupo de alarmas mientras una variable (o varias) conocida como detonante (*trigger*) cambie de estado y una reactivación con la misma aplicación en cuanto el detonante recupera su estado inicial.

La implementación de estas dinámicas es un proceso que empieza con la validación de los grupos por parte de varios departamentos, hasta la configuración en el sistema de control, tanto el nativo como el nuevo (ya que actualmente la planta se encuentra en un estado de migración del sistema, de nativa a *Experion*, y se requiere de una configuración de las dinámicas en ambos) y su activación.

Una vez implementadas dichas dinámicas se evalúan las mejoras cuantitativas (reducción de alarmas) y cualitativas (mayor seguridad de planta y mejor respuesta por parte de operadores de planta).

También se implementan los cambios en los gráficos de proceso para que operadores y panelistas puedan localizar representaciones visuales de todas las dinámicas, indicando a qué equipo pertenecen y si se encuentran en estado de supresión o no.

Este proyecto se ubica en Tarragona, en la planta de polietileno de baja densidad (PEBD) de Repsol Química, S.A. bajo la normativa de gestión de alarmas ISA 18.2.

El PEBD es un polímero de cadena larga (Ref.1) producto de la polimerización por radicales libres de su monómero, el etileno. Pertenece al grupo de las poliolefinas y es químicamente inerte. El proceso se conoce con el nombre de la empresa británica que lo patentó: ICI (*Imperial Chemical Industries*), que data de 1978.

En A.1. se incluyen las propiedades tanto del etileno (Ref.2) como del PEBD (Ref.3).

## 2. PLANIFICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

### 2.1. Planificación temporal

Tabla 2.1. (I) Distribución temporal inicial y real de las tareas realizadas.

Actividad / Tarea	Inicial		Real	
	Fecha inicio	Fecha fin	Fecha inicio	Fecha fin
Formación	05/10/2020	08/10/2020	05/10/2020	16/10/2020
Entrevistas con dptos. producción y procesos	12/10/2020	22/10/2020	19/10/2020	22/10/2020
Recopilación datos arranques y paradas	26/10/2020	05/11/2020	26/10/2020	13/11/2020
Recopilación nº alarmas según modo de operación	-	-	07/12/2020	10/12/2020
Formación programas de supresión de alarmas	09/11/2020	12/11/2020	16/11/2020	26/11/2020
Dinámicas no asociadas a arranque o parada (formación)	-	-	23/11/2020	03/12/2020
Configuración dinámica principal en AM	16/11/2020	22/12/2020	18/01/2021	08/04/2021
PIDs	-	-	21/12/2020	21/01/2021
PFD	-	-	25/01/2021	28/01/2021
Hoja de seguimiento 50% coordinadores	08/04/2021	15/04/2021	12/04/2021	15/04/2021
Indisposición de la estación de ingeniería por migración	01/02/2021	19/02/2021	01/02/2021	04/03/2021
Configuración alarmas por equipos en AM/HPM	11/01/2021	11/03/2021	-	-
Configuración C.Prim y C.Aux en AM/HPM	-	-	14/12/2020	17/12/2020
Configuración E/P y cortadora en AM/HPM	-	-	01/02/2021	04/02/2021
Configuración dinámica principal en DAS	11/01/2021	11/03/2021	22/03/2021	08/04/2021
1a reunión tutor académico	03/02/2021	03/02/2021	21/01/2021	21/01/2021
Configuración alarmas por equipos en DAS	15/02/2021	01/04/2021	-	-
Configuración C.Prim y C.Aux en DAS	-	-	01/02/2021	04/02/2021
Configuración E/P y cortadora en DAS	-	-	01/03/2021	04/03/2021
1a reunión seguimiento con tutor académico	12/02/2021	12/02/2021	16/02/2021	16/02/2021
Evaluación funcionamiento de las dinámicas	01/03/2021	11/03/2021	22/02/2021	29/04/2021
2a reunión seguimiento con tutor académico	04/03/2021	04/03/2021	17/03/2021	17/03/2021

Continúa

Tabla 2.1. (I) Distribución temporal inicial y real de las tareas realizadas.

Actividad / Tarea	Inicial		Real	
	Fecha inicio	Fecha fin	Fecha inicio	Fecha fin
Evaluación de las mejoras en el sistema	08/03/2021	18/03/2021	12/04/2021	10/06/2021
<i>Display</i> en HMI	15/03/2021	08/04/2021	18/01/2021	15/04/2021
3a reunión seguimiento con tutor académico	01/04/2021	01/04/2021	03/05/2021	03/05/2021
Recopilación y estructura de la información	05/04/2021	08/04/2021	30/11/2020 y 26/04/2021	30/12/2020 y 13/05/2021
Redacción bases teóricas en la memoria	12/04/2021	22/04/2021	01/02/2021	04/03/2021
Redacción procedimientos y resultados en la memoria	26/04/2021	13/05/2021	08/03/2021	25/03/2021
Formato final de la memoria y revisión del tutor	17/05/2021	27/05/2021	19/04/2021	31/05/2021
Ensayo de la defensa con tutores y supervisores	-	-	08/06/2021 y 15/06/2021	08/06/2021 y 15/06/2021
Entrega y defensa	21/06/2021	25/06/2021	14/06/2021	23/06/2021

## 2.2. Alcance del proyecto

Para un tratamiento de alarmas molestas (*Bad Actors*) primero es necesario eliminar alarmas innecesarias e intermitentes de situaciones con abundancia de disparos, como los arranques y paros. Si estas alarmas saturan el sistema, cuando llega el momento de analizar alarmas molestas durante la operación se pierden entre todos los disparos de estos modos.

Por eso, el alcance del proyecto consta de este primer tratamiento, que consiste en la eliminación de alarmas necesarias en operación normal pero innecesarias en modos de paro de planta o arranque mediante dinámicas, que silencian dichas alarmas cuando se detectan las condiciones de cambio de modo a parada de emergencia o puesta en marcha.

Para el proyecto se requiere una formación previa de operación y programario usado tanto para gestión y documentación de procesos, como para configuración en el SCD.

Para crear grupos de alarmas comunes con un comportamiento similar y que puedan ser incluidas en una dinámica de alarmas se deben estudiar casos históricos (por lo menos del último año) para discriminar qué alarmas son puntuales o cuáles son típicas en este modo; y para reunir diferentes alarmas que pueden disparar solo en algunos contextos (dependiendo del motivo de paro o el estado en el que se encuentra la planta justo en el momento previo al paro).

Una vez hecho el análisis se van a proponer los grupos de alarmas candidatas a silenciar al departamento de producción y cuando sean aprobados se van a configurar en el sistema de control, creando también gráficos para su visualización en los paneles.

Cuando estén implementadas las dinámicas se analizarán los valores generales de alarmas de la planta y se volverán a estudiar casos de parada y arranque posteriores a su implementación para evaluar las mejoras cuantitativas. Los operadores y panelistas dejarán constancia de las mejoras cualitativas en su concentración y atención sobre las alarmas después de haberse implementado las dinámicas.

### 3. CONTEXTO Y METODOLOGÍAS

Para contextualizar el proyecto, se presenta una breve descripción de las metodologías, las herramientas, las normativas y el *software* que se han usado para el análisis y tratamiento de las alarmas.

#### 3.1. Sistema de control actual: TDC-3000

El sistema de control vigente en la planta es un **sistema de control distribuido** (*Distributed Control System: DCS*) llamado TDC-3000 de la empresa *Honeywell* (Ref.4). El sistema está compuesto por una serie de módulos con funciones concretas conectados a través de redes de comunicaciones con características propias (Ref.5).

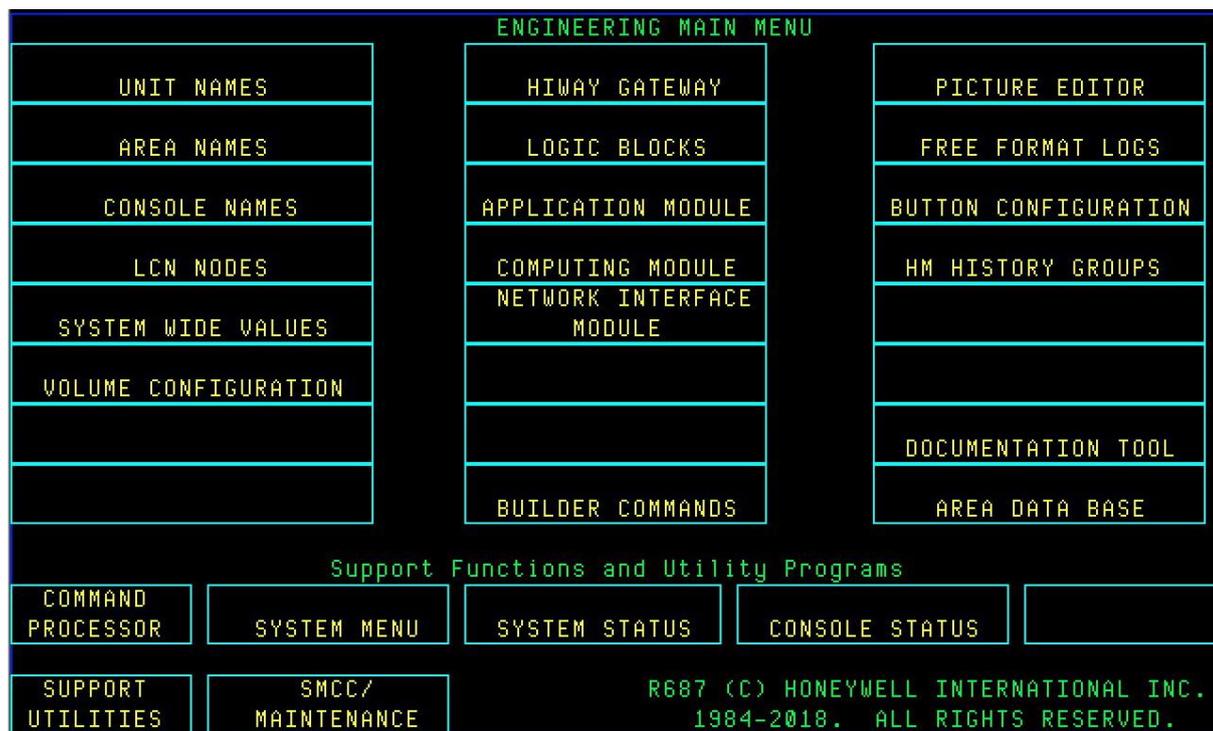


Figura 3.1. Pantalla principal del menú del sistema de control actual.

En este momento se está implementando un cambio en el sistema de control: se está incorporando el sistema *Experion*, una actualización del sistema que integra *Windows* como parte del sistema operativo que mejora la interacción, a la que se está migrando.

Un modelo de control distribuido es un sistema de sensores, controladores y módulos complementarios distribuidos por una planta. Cada elemento tiene una función única y está estratégicamente ubicado. Todos estos elementos comunican de forma centralizada a una red (conocida como *control network*) con varias estaciones. Este modelo de control permite el monitoreo y control automático sobre decenas de variables de la planta de forma simultánea y coordinada, a diferencia del PLC (*Programmable Logic Controller*) definido a continuación, que puede controlar y ajustar solo una operación unitaria.

En la siguiente figura se muestra un esquema de la estructura jerárquica de un modelo distribuido y se describen brevemente las propiedades y características propias de cada módulo y red que lo componen:

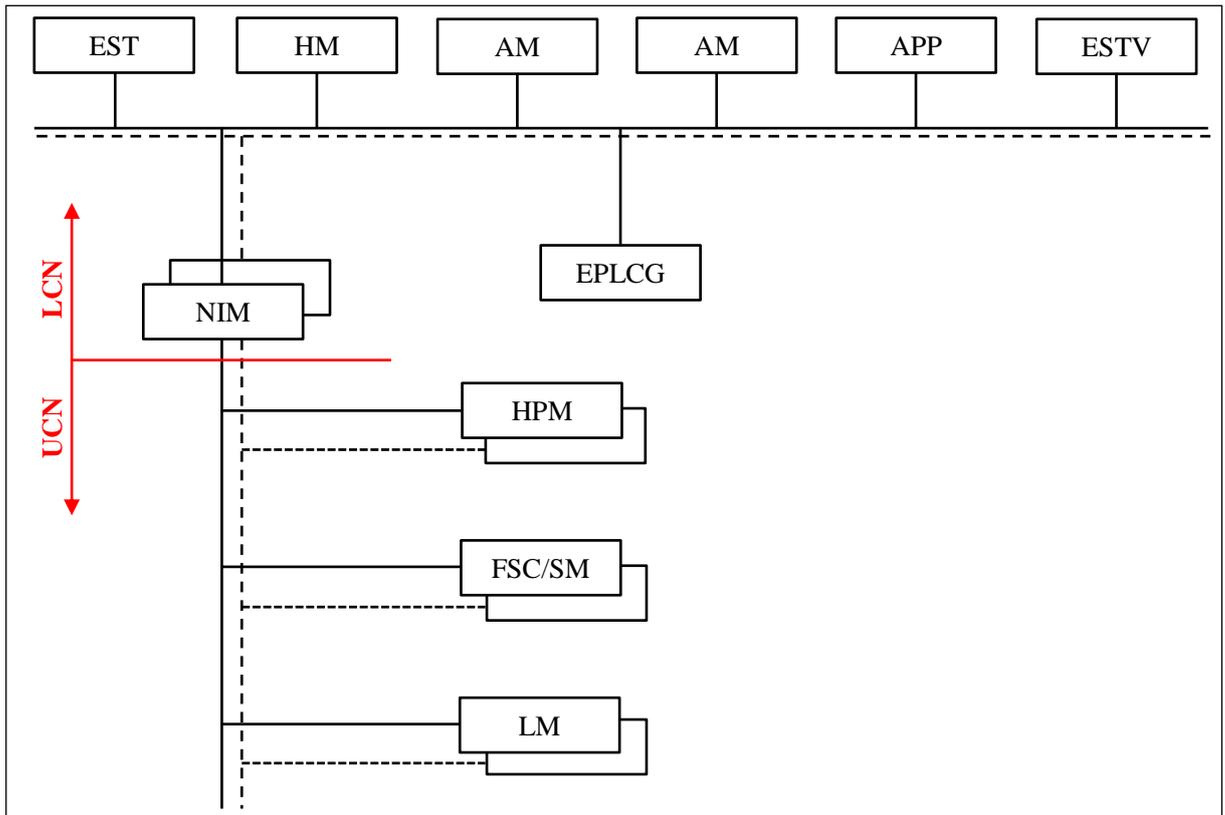


Figura 3.2. Esquema del sistema de control vigente en la planta.

·LCN: *Local Control Network*: Une las estaciones de operador, las interfaces con otras redes (hacia planta o hacia el exterior) y el resto de módulos que se puedan integrar en el sistema. Es redundante (2 cables coaxiales) con comprobación de datos redundante y velocidad de 5 Mb/s.

·UCN: *Universal Control Network*: Red que conecta los módulos que están conectados a proceso entre ellos y a su vez conecta con la LCN. Igual que la LCN, es una red redundante con 2 cables coaxiales y opera a 5 Mb/s.

·EST: Estación. El último modelo de estación implementado se llama *Experion*, su red de control comunica con la LCN, y la usa de igual manera que la FTE, con cableado propio.

·HM: *History module*: Es un módulo cuya función principal es la de un disco duro, almacena tanto los ficheros de la propia configuración del sistema como el *software* y los datos que permiten arrancar los otros módulos del TDC-3000. También almacena los datos históricos y los programas y gráficos generados por el usuario.

·AM: *Application module*: Módulo usado para los cálculos, programas y estrategias de control. Usado cuando se requiere más potencia de la disponible en la UCN o cuando se requiere información de diversas UCNs (dada su posición estratégica en la LCN). Se trata de un módulo no redundante, por este motivo no se utiliza para el control, aunque para el uso de alarmas se crea una redundancia virtual utilizando dos AMs (uno titular y otro en stand-by) para asegurar la criticidad.

·APP: Es un módulo como el AM cuyo uso principal es comunicarse con programas externos (como *InfoPlus*) o para almacenar los programas de reserva.

·ESTV: Equipo que comunica el TDC con *Experion*. Redundante. Almacena toda la base de datos del sistema *Experion*. Se comporta como un AM en el sistema de control pero incorpora la comunicación de los datos de la red de control a la red FTE (*Experion*).

·EPLCG: Interface que se usa para comunicar con PLCs externos.

·PLC: *Programmable Logic Controller*: Sistema de control incorporado a un equipo concreto. Es limitado porque viene diseñado con el propio equipo y se manipula desde otro sistema, por eso necesita de un EPLCG.

·NIM: *Network Interface Module*: Caja que une la LCN con la UCN. Transmite hacia la LCN datos de procesos, eventos, alarmas, etc. y, a la UCN, cambios de configuración, comandos de un operador o un programa...

·HPM: *High performance manager*: Módulo donde se ubican los controladores principales (P&ID). Permite la visualización, transmisión, control y actuación sobre la planta. También es redundante. A diferencia del AM y el NIM, el HPM no puede modificar las prioridades de las alarmas.

·FSC/SM: *Fail Safety Controller y Safety Manager*: El SM es un módulo que integra el propio FSC (que es un PLC) con un módulo especial de conexión a la UCN. Su función principal es la gestión de la seguridad. Es compatible con *Experion* y es redundante. En la planta estudiada se dispone de 4 SMs: uno para cada unidad, uno para el transporte neumático y otro para los utilities.

·LM: *Logic Manager*: Es un PLC de propósito general incluido dentro de *Honeywell*. Obsoleto.

### 3.2. Herramientas de consulta

Para hacer un buen análisis del comportamiento del sistema de alarmas se necesitan programas eficaces e intuitivos de consulta. Los dos principales programas usados para dicha finalidad son *Infoplus* (el visualizador de la planta y los gráficos en tiempo real) y DOC4000 (que contiene toda la información de las señales, programas y gráficos de la planta).

#### 3.2.1. InfoPlus

*InfoPlus* es una herramienta de visualización en los ordenadores de la red general y documentación de proceso (*Aspen Process Explorer*) que contiene información de todas las plantas del complejo, servicios, laboratorios...

Esta herramienta es muy útil para hacer un seguimiento en tiempo real de un proceso y también para documentar valores y tendencias de cualquier variable de proceso en cualquier momento histórico usando la base de datos que contiene todos los puntos y su configuración. Pueden graficarse también histogramas y estadísticas rápidas como desviaciones estándar de las variables de proceso.

### 3.2.2. DOC4000

El DOC4000 es una herramienta que contiene todos los archivos de programas y señales de la planta (desde las secuencias de arranque y parada hasta operación de los equipos y alarmas asociadas). Tiene un buscador muy eficaz, ya que no es necesario disponer del nombre completo de un TAG o programa para encontrarlo.

Una vez localizado el programa, se pueden consultar las propiedades, las modificaciones, su ubicación dentro del sistema de control y el archivo .CL donde se encuentran las instrucciones, variables y comandos usados para la ejecución correcta del programa.

### 3.3. Normativa ISA 18.2

La normativa ISA 18.2 (*Management of Alarm Systems for the Process Industries*) (Ref.6) nace en 2009 tras la necesidad de estandarizar el ciclo de vida de la gestión de alarmas. Esta normativa se ha actualizado varias veces y la más reciente disponible en estos momentos data de 2016, cuando se reforzaron los sistemas de control para dar más cobertura a las alarmas, añadir nuevos paquetes de sistemas y clarificar la terminología.

La gestión de alarmas es un problema que ha persistido durante años en la industria y no ha recibido la atención necesaria. Cada industria afrontaba la saturación de alarmas de forma independiente y la gestión era pobre al no relacionarse de forma directa con incidentes químicos, aunque la sobreinformación y saturación que suponen las avalanchas de alarmas se han demostrado como factores contributivos a incidentes mayores.

El ciclo de vida que establece la normativa ISA 18.2. es interdisciplinar y completo: se requiere colaboración de operadores, panelistas, técnicos de proceso, técnicos de control... Y no se limita solo al tratamiento de alarmas problemáticas, sino que también hace hincapié en el monitoreo y evaluación constante de las alarmas.

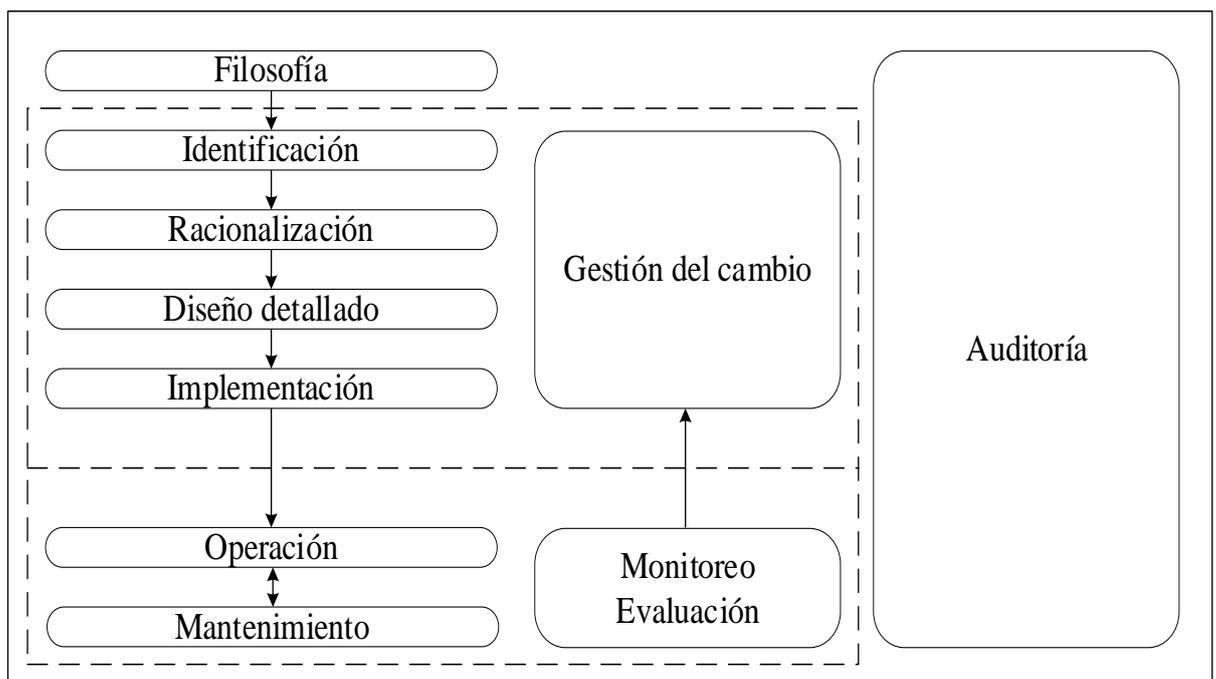


Figura 3.3. Ciclo de vida según ISA 18.2.

Cada etapa del ciclo de vida viene descrita según las siguientes características:

Tabla 3.1. Detalles del ciclo de vida según ISA 18.2.

Etapa del ciclo	Características
Filosofía de alarmas	Objetivos del sistema de alarmas y proceso para alcanzarlos
Identificación	Proceso que determina qué alarmas son necesarias
Racionalización	Que la alarma cumpla los requisitos fijados por la filosofía (D&R)
Diseño detallado	Diseño de la alarma para que cumpla los requisitos de D&R (incluyendo técnicas especiales y HMI)
Implementación	Alarma pasa a estado operativo (requiere pruebas y/o entrenamiento)
Operación	Alarma funcional
Mantenimiento	Alarma no funcional temporalmente por prueba o reparación
Monitoreo y evaluación	Análisis y comparación del sistema de alarmas con el objetivo establecido
Gestión del cambio	Cambios en el sistema de alarmas según un proceso definido
Auditoría	Revisiones periódicas del sistema para mantener su integridad

### 3.3.1. Documentación y racionalización de alarmas (D&R)

Es elemental la **documentación** y la **racionalización** (D&R) de las alarmas. La identificación consiste en la localización de los diferentes métodos para determinar la necesidad de creación o modificación de alarmas, básicamente es el input de las alarmas, que una vez localizadas, pasarán a ser racionalizadas. En la racionalización es donde tienen lugar las actividades significantes (que pueden ser tareas simultáneas) para la gestión de alarmas, que son las siguientes:

- Justificación: la alarma existente se compara con el criterio de filosofía de alarmas.

- Documentación: se recopilan los datos de las alarmas, como su tipo, su SP, su causa y consecuencia, la respuesta o acción correctiva, la prioridad (y la justificación de las anulaciones de prioridades recomendadas según la matriz, en caso necesario), el límite o condición lógica, el motivo, la clasificación y las técnicas avanzadas.

- Priorización: siguiendo el criterio de la filosofía de alarmas de la siguiente tabla. Los criterios para seleccionar el tiempo de respuesta y la gravedad, en el anexo A.3.

Tabla 3.2. Matriz de prioridades de alarma.

Tiempo máx. de respuesta	Gravedad de las consecuencias			
	Ninguna	Menor	Importante	Severa
>30 min	Sin alarma	Sin alarma	Sin alarma	Sin alarma
15-30 min	Sin alarma	LOW	LOW	HIGH
5-15 min	Sin alarma	LOW	HIGH	HIGH
<5 min	Sin alarma	HIGH	EMERGENCY	EMERGENCY

- Clasificación: Asignación de las alarmas a un grupo o clase según los requerimientos administrativos. Estas pueden ser de clase entrenamiento (el operador requiere una formación), de clase pruebas (necesitan pruebas periódicas) o de clase general (no necesitan ninguno de los anteriores).

· Implementación: una vez finalizado el proceso de D&R, las alarmas se reconfiguran en el sistema y se pasa por un entrenamiento (formación de los operadores) para su correcta manipulación según la nueva configuración.

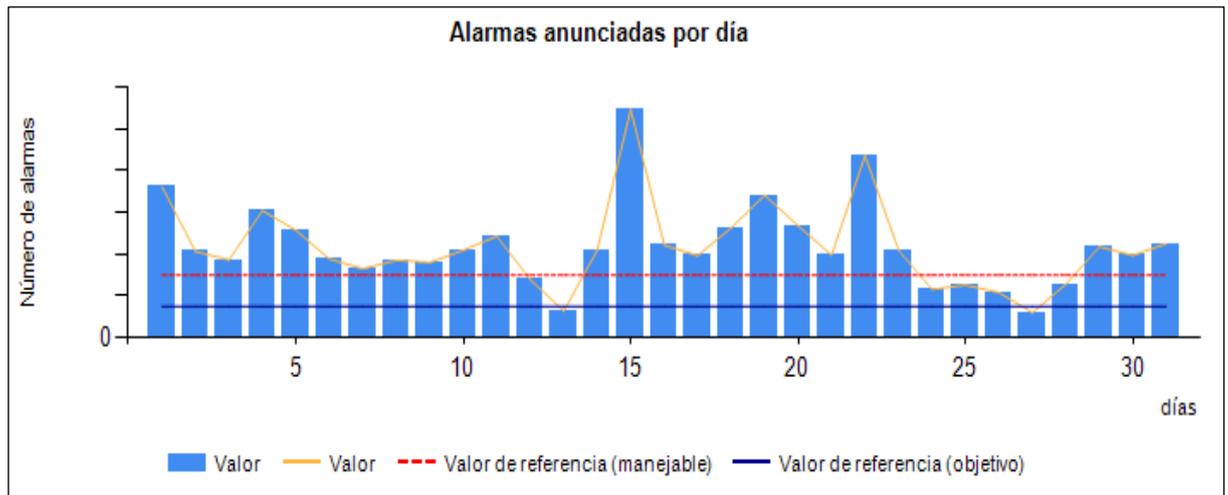


Figura 3.4. Valores de alarmas de una planta no racionalizada.

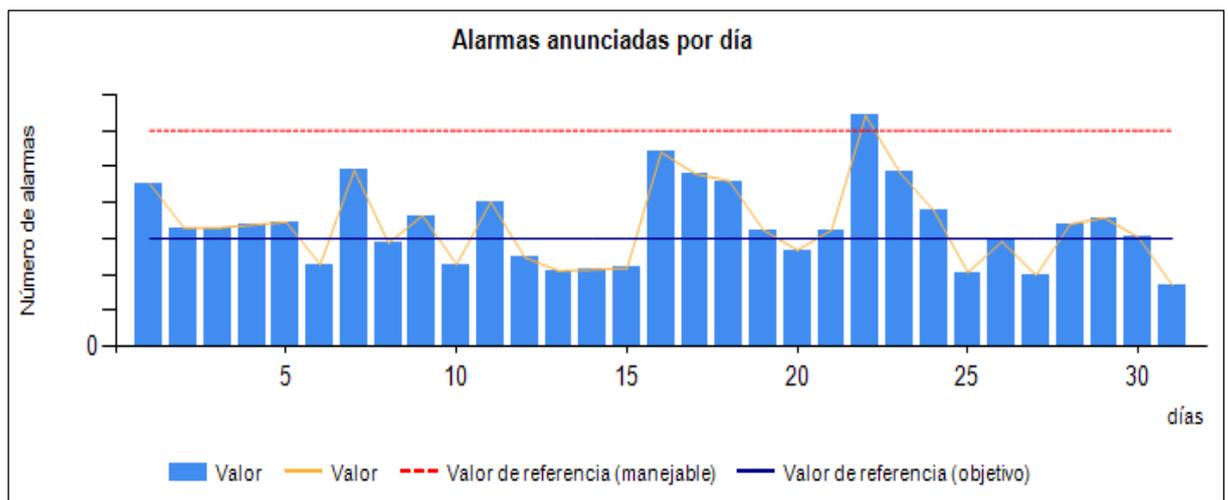


Figura 3.5. Valores de alarmas de una planta racionalizada.

En los gráficos anteriores se demuestra que un sistema de alarmas se puede gestionar dentro de los valores medios de los KPIs sin sacrificar información recibida por el operador y sin poner en jaque la seguridad de la planta.

Es esencial seguir el ciclo de vida de ISA 18.2. y saber discriminar cuando una alarma no es tan necesaria como aparenta inicialmente, cuando se necesita mitigación por acción humana, cuando alarmas distintas repiten la misma información...

También se debe insistir en el monitoreo y auditorías para evaluar el funcionamiento del sistema, mantenerlo y mejorarlo de manera constante. Si se instalara un nuevo equipo o proyecto, por ejemplo, y las nuevas alarmas incorporadas no son tratadas, todo el trabajo de racionalización se vería sumamente afectado (basta con una sola avalancha o intermitencia para desviar notablemente las medias y salirse de los KPIs).

### 3.4. Filosofía y gestión de alarmas

El propósito de una filosofía de alarmas (Ref.7) es garantizar que el sistema de control funcione como una herramienta para ayudar de forma eficaz al operador, en vez de distraerlo agobiándolo para que pueda tomar las medidas correctas en cada escenario y reducir la probabilidad de sufrir incidentes mayores.

Dichas metodologías se recopilan en un documento que sirve de pauta de diseño de alarmas tanto para sistemas nuevos como para la modificación de sistemas existentes. Este documento está basado en la normativa ISA 18.2 con el añadido de metodologías internas para su aplicación dentro de cada planta (ya que las necesidades de una planta *Batch* son muy diferentes de una continua o una con múltiples productos y modos de operación).

#### 3.4.1. ¿Qué son las alarmas?

Un sistema de alarmas con una mala funcionalidad es reconocido como un factor altamente contributivo a incidentes de todas las gravedades, y eso crea la necesidad de una filosofía de la gestión de alarmas para un mejor rendimiento (anexo A.4.) y el cumplimiento de unos objetivos e indicadores clave de rendimiento, más conocidos como KPIs (anexo A.5.).

Para ello, es imprescindible la redefinición de lo que debe ser una alarma, que debe cumplir las siguientes pautas (además de los criterios fijados por la etapa de priorización):

- Las alarmas deben ser adecuadamente seleccionadas y configuradas.
- Las alarmas deben ser relevantes, claras y fáciles de comprender.
- Las alarmas deben ser configuradas de forma consistente de acuerdo con las pautas de mejores prácticas de la industria.
- Las alarmas deben ser presentadas con una frecuencia que el operador pueda manejar de forma eficaz.
- Los operadores deben poder evaluar rápidamente el origen y la importancia relativa de todas las alarmas de proceso.
- Los operadores deben poder procesar la información de las alarmas durante eventos de alta frecuencia de accionamiento de alarmas (como los arranques y las paradas).
- Los sistemas de alarmas deben ser correctamente controlados, monitorizados y mantenidos. Si se racionaliza un grupo de alarmas, pero no se le aplica un mantenimiento posterior, las alarmas aumentarán en número y perderán funcionalidad.

Una alarma es un medio sonoro y visible de indicar al operador sobre el fallo de un equipo, una desviación de proceso o una condición anómala que requiere una respuesta a tiempo.

Es primordial comprender que, si una alarma **no** requiere la acción del operador (anexo A.6.), **no** se trata de una alarma, ya que éstas no se pueden usar para fines informativos. Las acciones del operador pueden comprender acciones como cambios en el sistema de control, indicar a terceros un cambio (p.ej. un arranque manual), iniciar un análisis y resolución del problema o comunicarse con otros grupos funcionales como reparación o mantenimiento.

Tabla 3.3. ¿Qué se considera una acción por parte del panelista?

Ejemplo	Acción
Realizar un cambio usando el DCS (cambiar un SP)	✓
Dirigir a los operadores de campo a realizar algún cambio (parar una bomba)	✓
Contactar con Mantenimiento para realizar una reparación	✓
Cambiar el modo de operación	✓
Incrementar el monitoreo (vigilancia) de una variable o sección de proceso	✓
Tomar nota en un libro	X
Dejar la alarma para el siguiente turno	X
Verificar que algo va como debe	X

Las propiedades de las alarmas y de las señales en general se definen y codifican en el panel de control con un lenguaje propio:

Tabla 3.4. Propiedades y simbología de señales y alarmas

Nombre	Función
TAG	Nombre codificado de una señal (etiqueta)
SP	<i>Set-point</i> de una variable (valor nominal de operación)
RV	Tiempo restante: uso exclusivo en temporizadores
PV	Valor real de operación de una variable analógica
PVLO	Alarma de bajo valor de operación de variable analógica
PVLL	Alarma de muy bajo valor de operación de variable analógica
PVHI	Alarma de alto valor de operación de variable analógica
PVHH	Alarma de muy alto valor de operación de variable analógica
PVTP	<i>Trip</i> : valor tarado en el que dispara la alarma de una variable analógica
FL	<i>Flag</i> : variable digital (ON-OFF o 1-0 o MARCHA-PARO)
PVFL	Estado de una variable digital
OFFNORM	<i>Off-normal</i> : estado anormal de una variable digital
PR	Prioridad de alarma
LOW	Prioridad de alarma baja
HIGH	Prioridad de alarma alta
EMERGENCY	Prioridad de alarma emergencia

### 3.4.2. Métodos de tratamiento de *Bad Actors*

Las alarmas con mala funcionalidad (Ref.8) se denominan *Bad Actors* (alarmas de actuación deficiente) y comprenden las alarmas intermitentes, frecuentes, transitorias, permanentes y otras alarmas molestas.

Las intermitentes son de las más peligrosas, porque disparan muchas veces en muy poco tiempo y desconcentran al operador, lo que deriva en su déficit de atención a la monitorización y el impedimento para tratar otras situaciones anómalas, además de saturar la pantalla principal de alarmas, tapando otras alarmas que podrían ser críticas. Los métodos de tratamiento más usadas en estos casos son: la banda muerta, el *On-Delay* y el *Off-Delay* (apartado 3.4.3).

En ciertas ocasiones, se puede necesitar la supresión temporal de alarmas o grupos de alarmas de forma temporal (p.ej. por razones de mantenimiento de un equipo). Esta función tiene el nombre de *Alarm Shelving* y es una solución temporal, no muy recomendable para uso masivo, ya que se pueden aglomerar y hacer su rastreo más difícil.

A la vez, se pueden volver muy engorrosas, así que se recomienda la implementación de *software* que automatice estas supresiones de forma temporal y controlada, con opción a reactivar automáticamente, requerir al operador permiso para reactivar o dar la opción de volver a suprimirla (*snooze*). Es esencial que la supresión no sea indefinida y que los operadores sepan, en cada turno, qué alarmas han sido manipuladas mediante el *Shelving*.

### 3.4.3. Funciones de optimización de alarmas

Las alarmas y señales se programan mediante las puertas lógicas conocidas comúnmente (AND, OR, NAND, NOR, XOR...) descritas en el anexo A.7. A continuación, se detallan las tres funciones más usadas en los sistemas de alarmas y su optimización: *On-delay*, *Off-delay* y *Deadband*.

Estas funciones son las más comunes porque manipulando el tiempo de respuesta o el valor de retorno de la alarma, se evitan falsas alarmas e intermitencias. La selección de alguna de ellas depende de la necesidad de la alarma y la importancia de la señal (como podría ser el caso de alarmas críticas que necesitan activación inmediata, descartando la función *On-delay*).

En el anexo A.9. se puede ver la creación de una lógica en la estación nativa para la supresión de alarmas con doble condición (el paro del equipo y la velocidad mínima) para la supresión de alarmas de baja velocidad asociadas a la parada de dicho equipo.

· *On-Delay*: Cuando S1 pasa de OFF a ON, un *timer* interno se activa y una vez alcanzado el tiempo fijado (*delay time*), se vuelve a comprobar el estado de S1. Si S1 sigue en ON, entonces S0 pasa a ON hasta que S1 vuelva a OFF, donde S0 también volverá a OFF. Si S1 ha vuelto a OFF, S0 se queda en OFF. De esta forma, una alarma no dispara hasta haber comprobado que su estado es ON durante un tiempo prudencial.

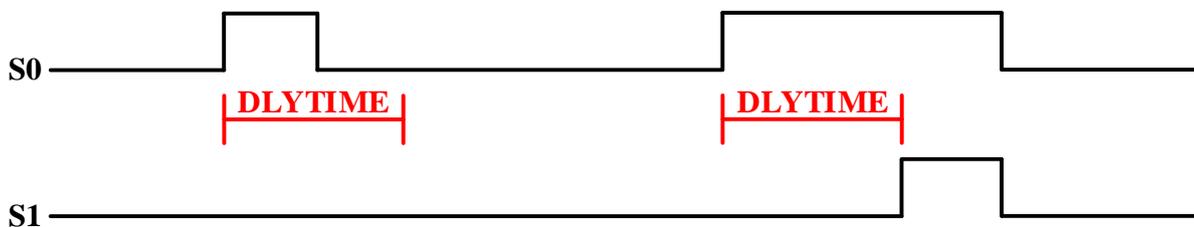


Figura 3.6. Representación de la función *On-delay*.

· *Off-Delay*: Función inversa del *On-delay*. Cuando S1 pasa de OFF a ON, S0 pasa a ON, y es cuando S1 vuelve a OFF cuando el *delay time* empieza. Cuando ha pasado el *delay time*, se comprueba el estado de S1. Si pasado ese tiempo S1 sigue en ON, S0 también lo hace que se recupera S1 y si S1 está en OFF, S0 también retorna a OFF. Pero si S1 ha fluctuado durante el *delay time*, S0 no retorna a OFF.

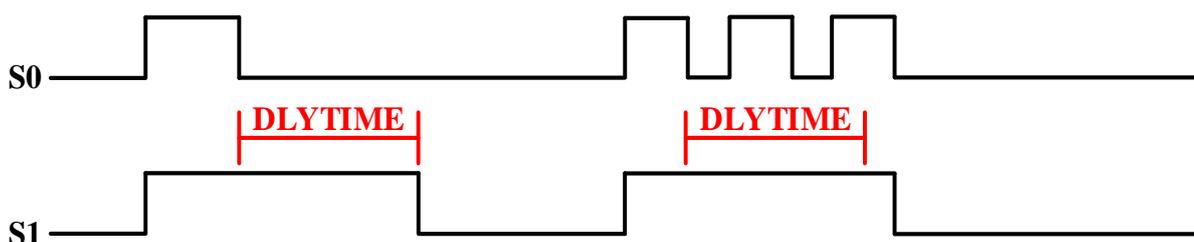


Figura 3.7. Representación de la función *Off-delay*.

La selección de los segundos de *delay* se debe hacer según la tabulación de la siguiente tabla, donde se clasifican de forma estándar según la variable sobre la que se aplique.

Tabla 3.5. Puntos de consigna para *On-Delay* y *Off-Delay*.

Tipo de señal	Tiempo de retraso activación (ON-DELAY)	Tiempo de retaso retorno (OFF-DELAY)
Flujo	0 a 15 s con precaución	15 s
Nivel	>30 s con precaución	30 a 60 s con precaución. Considerar volumen del tanque e índice de producción
Presión	>15 s con precaución	15 s con precaución. Puede ser aceptable un límite superior entre 60 y 120 s
Temperatura	>30 s con precaución	30 a 60 s con precaución. Puede ser aceptable un límite superior entre 60 y 120 s
Otros	Consideración individual (generalmente 5 s)	5 a 30 s. Usar un buen criterio de ingeniería según la alarma

· *Deadband*: Esta función fija un margen en el SP de disparo para el retorno de una alarma, de forma que una vez ha disparado tiene que alejarse un poco más del SP de disparo para retornar a su estado. Este valor puede ser un valor absoluto o un % del rango (normalmente de operación, pero también puede ser un rango del proceso).

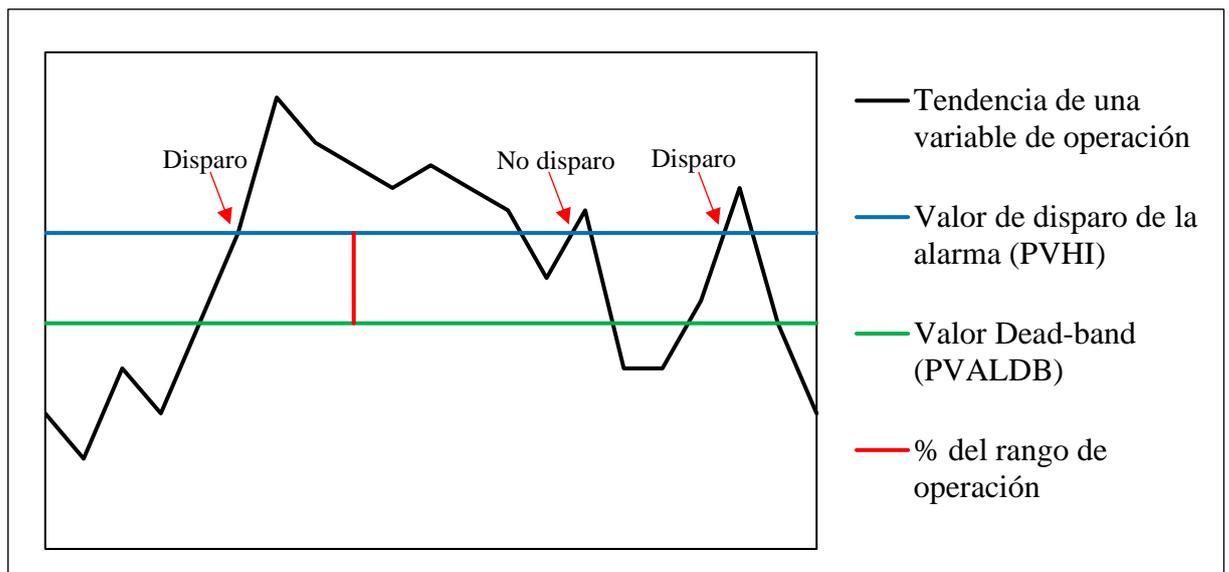


Figura 3.8. Representación de la función *Deadband*.

La banda muerta también se configura bajo un estándar siguiendo el criterio de la variable a modificar y del rango usado, representado en la siguiente tabla.

Tabla 3.6. Puntos de consigna para las bandas muertas (basado en rango de operación).

Tipo de señal	Constante de tiempo de filtrado	Banda muerta
Flujo	2 s	5%
Nivel	2 s	5%
Presión	1 s	2%
Temperatura	0 s	1%

### 3.5. Dinámicas de alarmas

Una problemática de las alarmas es que estas son configuradas en estado de operación nominal, de modo que situaciones como los arranques, las paradas, la producción de diferentes productos o a diferentes capacidades puede provocar avalanchas<sup>1</sup> de alarmas que no suponen una anomalía para el estado en el que se está trabajando. La solución que propone la filosofía de alarmas es la dinamización de éstas: una automatización de grupos de alarmas que se adapte a diferentes estados de proceso y queden en estado activo o suprimido según se necesite.

Las dinámicas consisten en la inactivación de un grupo de alarmas objetivo a partir de una señal que implique un cambio en el estado de la planta. La dinámica de alarmas más común es la de inactivación de alarmas relativas a cierto equipo cuando este equipo pase a un estado de paro y no requiere de las alarmas que se sabe que van a aparecer (como bajas presiones y temperaturas), y el rearme de estas alarmas una vez el equipo vuelve a estar operativo.

También es una herramienta útil para plantas que producen diferentes tipos o grados de producto y cada modo de producción tiene sus propias variables fijadas. Una dinámica en este caso evitaría muchas alarmas de condiciones “anómalas” de operación que simplemente se manifiestan como anómalas porque no se corresponden con los SP fijados para los diferentes modos de operación.

Descripción	Tipo Alarma	Prioridad	Límite	Parámetro	Inicial
PARADA EMERGENCIA U2	OFFNORM	EMERGENCY			
MARCHA PARO C.PRIMARIO				OP	NO_ACT UA
COMPRESOR PRIMARIO MARCH	OFFNORM	EMERGENCY			
ANOM. COMPRESOR PRIMARIO	OFFNORM	LOW			
BYPAS 3	PVLL	JOURNAL	-20		
MARCA ALARMAS ACT/INACT	OFFNORM	LOW			
PRES 3				SUPP	PVLL
PRES 3				SUPP	PVLO
BY-PASS				SUPP	PVLL
BY-PASS				SUPP	PVLO
CONT. PRES.				SUPP	PVLL
CONT. PRES.				SUPP	PVLO
CONT.P. 3 ET.				SUPP	PVLO
LPA 1 ETAPA PRIMARIO				SUPP	OFFNO RM
ASPIR. 3 ET PRIMARIO				SUPP	PVLO

Figura 3.9. Activación<sup>2</sup> del estado de supresión de alarmas (SUPP) asociadas al compresor primario con el paro del equipo en (visualizado en GesTDC).

<sup>1</sup> Las avalanchas de alarmas se definen como alarmas presentadas con una frecuencia mayor a la gestionable de forma eficaz por el operador. Se establece una avalancha como más de 10 alarmas en 10 minutos.

<sup>2</sup> La señal de “marca de alarmas act/inact” también es suprimida para no convertirse en un *Bad Actor*.

### 3.5.1. Dynamic Alarm Suppression (DAS) en un entorno Experion

DAS (*Dynamic Alarm Suppression*) es una herramienta incorporada en el nuevo sistema destinada a ejecutar dinámicas de alarmas des del propio *Experion* de forma intuitiva (Ref.9).

El funcionamiento es similar al *shelving*<sup>3</sup>, pero en vez de silenciar alarmas de forma temporizada, se puede suprimir grupos de alarmas (*targets*) asociados a eventos anormales (conocidos como *triggers*) y que se recuperan en cuanto el *trigger* recupera su estado normal.

La ventaja de esta supresión es que, a diferencia de la inhibición (función que requiere de una reactivación manual por parte del operador), los eventos silenciados son recogidos para su posterior análisis sin manifestarse en el panel de control y sin ser contabilizadas, mejorando de forma notable las alarmas molestas y *Bad Actors*.

Suppression Group	State
Alarmas Dinamicas M/B U1	Not suppressing
Alarmas Dinamicas M/B U2	Suppressing

Figura 3.10. Estado de supresión de alarmas en DAS.

Active Alarms						Triggers and Targets					Properties
Active suppression triggers (active)						Suppressed alarms					
Time	Source	Block	Condition	State		Time	Source	Block	Condition	State	
12/5/2020 14:58:28	PBDL		ALM	Suppressed		12/5/2020 14:58:28	PBDL		LALM	Suppressed	
						12/5/2020 14:58:26	YS		OFFNORM	Suppressed	
						12/5/2020 14:15:41	SIC		PVLL	Suppressed	
						12/5/2020 14:15:40	SIC		PVLO	Suppressed	

Figura 3.11. Menú de alarmas suprimidas de una dinámica en estado de supresión en DAS.

Las dinámicas se configuran primero fijando las propiedades de la dinámica: nombre, descripción, estado activo o inactivo, activar la dinámica cuando todos los *triggers* estén activos (en caso de que haya varios) o solo con uno (por defecto), suprimir las alarmas ya provocadas en el sumario, incorporar un *off-delay* con el rearme del *trigger* para que al normalizarse, no se active todo el grupo suprimido de golpe hasta haber pasado un tiempo prudencial (para evitar intermitencias y *Bad Actors*) y la posible inclusión de un temporizador para la reactivación de *targets* en caso de fallo o pérdida de comunicación con el *trigger*.

Una vez definida la índole de la dinámica, se seleccionan los *triggers* y *targets*, definiendo los TAGs y los tipos de disparo en la de condiciones, como muestra la figura.

Active Alarms				Triggers and Targets				Properties
Suppression triggers				Suppression targets				
Point	Block	Condition		Point	Block	Condition		
PBDLG10_				FAL		OFFNORM		
				PAH		OFFNORM		
				PAH		OFFNORM		
				PAL		OFFNORM		

Figura 3.12. Listado de *triggers* y *targets* en una dinámica en la aplicación DAS.

<sup>3</sup> Supresión justificada de una alarma que se recupera de forma automática y temporizada.

### 3.6. Software interno de gestión de alarmas

La empresa cuenta con una herramienta creada para la consulta, análisis y estudio de los eventos de las alarmas (y en algunos casos, de la configuración de los puntos, pero en ese contexto pueden existir discrepancias si algún cambio en un punto no ha sido actualizado).

Este programa genera diariamente y mensualmente un informe<sup>4</sup> sobre el estado de las alarmas, como p.ej. cuáles son las que más eventos han tenido, cuáles están en estado suprimido o de *shelving*, el estado y progreso de la racionalización, el total de alarmas disparadas en comparación con los KPIs... Este programa se usa para hacer análisis semanales donde se detectan *Bad Actors* y se proponen las acciones a tomar para reducirlas.

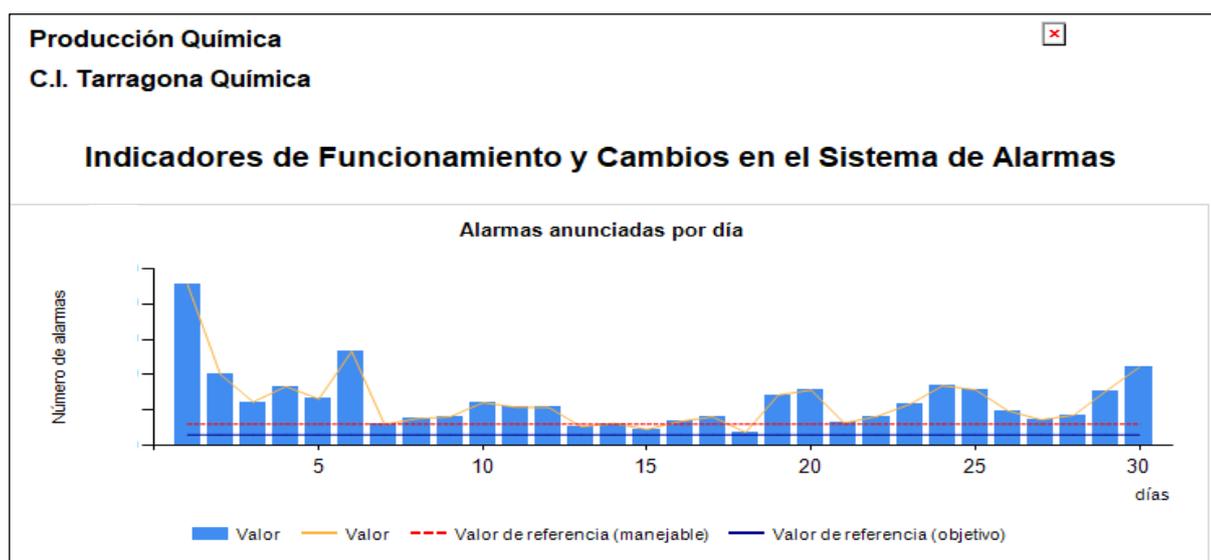


Figura 3.13. Indicadores mensuales de un sistema de alarmas.

Para otras consultas y análisis, existen el buscador de puntos (que ofrecen información sobre su configuración, los límites y prioridades de alarmas, eventos exclusivos de ese punto, etc.) y las listas de eventos (que, para un periodo de tiempo, recopilan los disparos, retornos, cambios, mensajes y *acknowledgement* de alarmas y la configuración básica de las alarmas disparadas, como la prioridad, el límite o el sistema al que pertenecen).

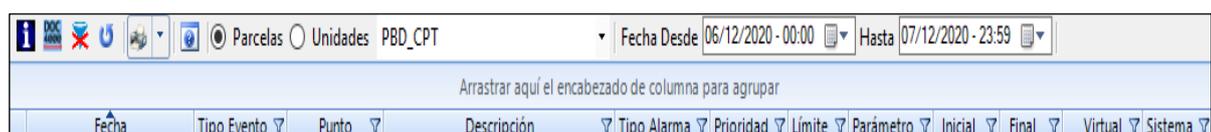


Figura 3.14. Pantalla de parámetros de estudio de eventos en GesTDC.

Esta herramienta es básica a la hora de llevar al día la racionalización y documentación de alarmas en una planta. Con una buena base de datos, sin discrepancias y sin peticiones de cambio desatendidas.

<sup>4</sup> Hay que tener en cuenta que los eventos de alarma detectados corresponden a las dos unidades de PEBD y la planta de compuestos en conjunto, de forma que un arranque o parada de una de las unidades (con abundancia de alarmas) afecta a los indicadores generales y “enmascara” el buen funcionamiento de las otras unidades.

3.7. Migración de los gráficos HMI (Human Machine Interfaces)

Durante más de 30 años los procesos industriales han sido gráficamente representados mediante la computarización. Estos gráficos hoy en día son pobres tanto a nivel visual como a nivel informativo y este es un factor contributivo a incidentes industriales graves.

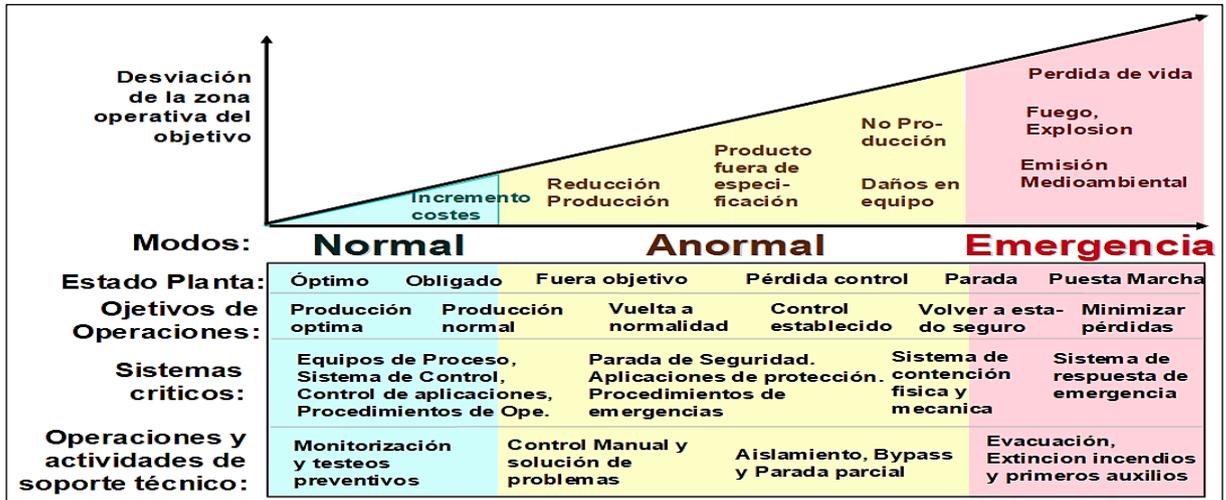


Figura 3.15. Clasificación de estados normal, anormal y emergencia según el ASM (Ref.10).

Un gráfico pobre está saturado de colores llamativos (como la representación en color verde de un equipo en marcha y en rojo de uno parado) y eso es una distracción añadida para el operador que dificulta la localización intuitiva de un estado anormal (figura 3.16). Por otra parte, la evolución del entorno industrial ha traído nuevos riesgos (conocidos como riesgos nuevos y emergentes: RNE) asociados al desarrollo de las nuevas tecnologías y las interfaces hombre-máquina. Se extiende la automatización y la maquinaria compleja, y con ello el flujo de información que recibe el usuario.

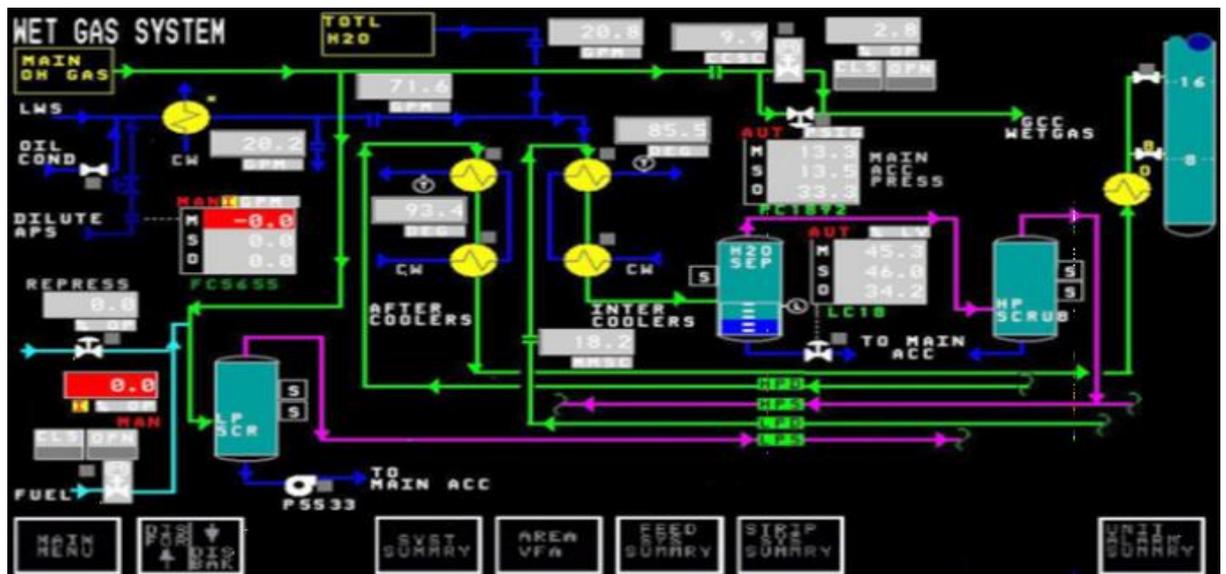


Figura 3.16. Gráficos de proceso en el primer HMI.

La solución propuesta por PAS (Ref.11) consiste en migrar los gráficos a esta nueva forma para regular el proceso, detectar anomalías y actuar cambiando colores, formas, avisos...

El uso del color es un factor clave para los gráficos: se configura el proceso con colores llanos de la escala de grises, y la información se coloca en etiquetas de colores que contrasten y sean fáciles de localizar. De la misma forma, se configuran las situaciones anómalas con colores vivos para ser fáciles de localizar: rojo para las situaciones con prioridad de emergencia, amarillo para las de alta y cian para las bajas prioridades (usando también el color verde para los mensajes) y el azul para desviaciones que no tienen por qué ir asociadas a alarmas.

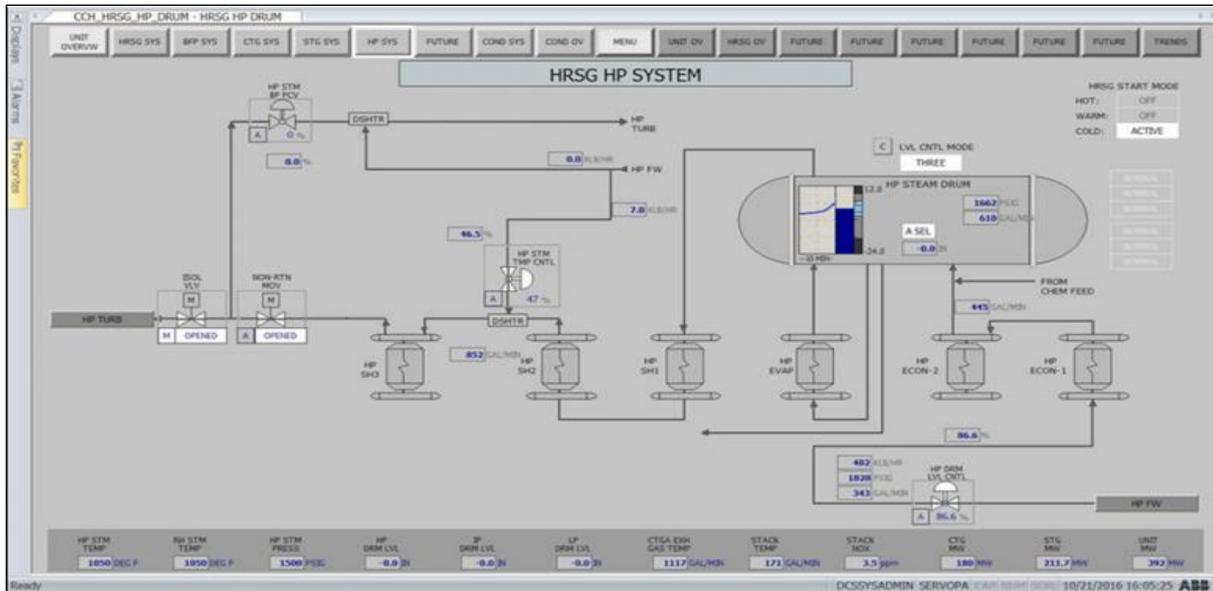


Figura 3.17. Gráfico de proceso con la nueva implementación del HMI.

Los gráficos (Ref.12) se dividen en niveles jerárquicos en unas grandes pantallas para que el operador tenga un fácil acceso a todas las partes del proceso con el nivel de detalle que le interese en cada caso y pueda ver varios gráficos simultáneos en una misma pantalla.

Tabla 3.7. Organización de los niveles de jerarquía en un *HMI display*.

Nivel	Nombre	Configuración
1	<i>Process Area Overview</i>	Desde planta. Indic. analógico: estado actual vs condición óptima. Tendencias y KPIs clave. No incluye interacciones de control.
2	<i>Process Unit Control</i>	Controla subpartes del proceso. Realiza el 90% de las interacciones necesarias. Tendencias y KPIs clave y estados de enclavamientos.
3	<i>Process Unit Detail</i>	Análisis detallado y soluciones de problemas. Incluye P&ID, <i>Layout</i> y elementos <i>High Performance</i> . Detalles clave y tendencias de equipos concretos. Detalles de iniciadores y acciones de enclavamientos.
4	<i>Process Unit Support and Diagnostic Displays</i>	Enclavamientos. ESDs (sumario de enclavamientos). Pantallas de diagnóstico.

Una nueva interfaz gráfica, bien representada y organizada, facilita la operación: con una localización y acción mucho más rápidas y efectivas por parte del personal, la operación de la planta desde la consola sin perder de vista otros niveles de gráfico y reduciendo el impacto de cualquier anomalía.

*Experion* cuenta con un gran abanico de posibles gráficos según los intereses del panelista (Ref.13). Por ejemplo, en un equipo cuya temperatura es crítica, se puede incorporar un perfil de desviación de temperaturas, o un gráfico histórico de temperaturas en donde se pueda observar su tendencia.

En la mayoría de casos, el operador no necesita saber el valor numérico del SP de una variable, siendo la desviación una indicación mucho más rápida e intuitiva para localizar anomalías. Los gráficos de desviación se pueden configurar para diferentes tipos de desviación: desviaciones de un SP y un rango de valores de operación, solo respecto un SP o bien solo respecto un rango de valores de operación.

También se pueden configurar con formas diferentes según la variable (presión, caudal, temperatura) o según otras preferencias (el criterio del panelista, el espacio disponible en el gráfico...)

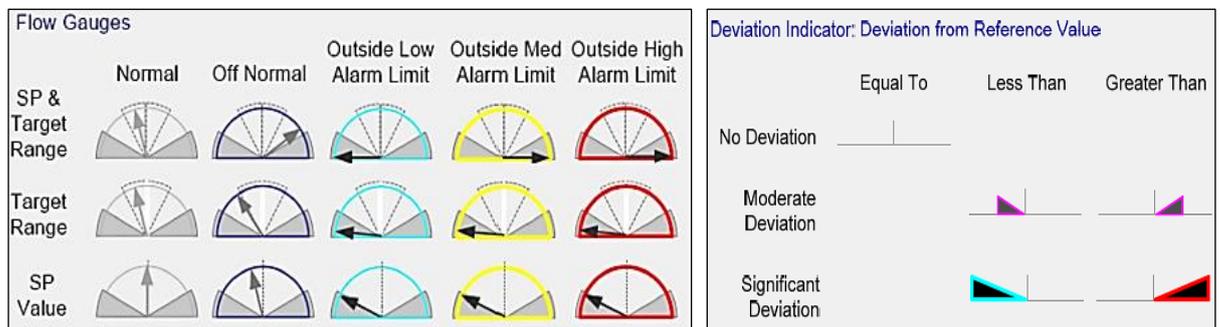


Figura 3.18. Diferentes gráficos en HMI para representar desviaciones de caudal.

La planta de PEBD también se encuentra en un proceso de migración de los gráficos a HMI y de formación y adaptación de panelistas.

### 3.8. Proceso

Este proceso de producción del PEBD recibe el nombre de la empresa británica que lo patentó por primera vez en 1936 y que fue la mayor productora mundial durante décadas: ICI (*Imperial Chemical Industries*), en cuyos laboratorios se estuvo experimentando con etileno a altas presiones, y a raíz de una fuga accidental de oxígeno en su reactor autoclave (que hizo de iniciador) se descubrió una sustancia blanca y de una textura similar a la cera, que, al ser reproducida mostró una gran resistencia a impactos y resistencia térmica y química.

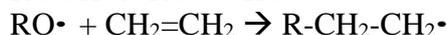
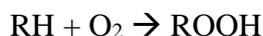
Para la producción del PEBD en el complejo industrial de Tarragona de Repsol, S.A. se cuenta con dos plantas gemelas, llamadas unidades. Se diferencian en algunos detalles puntuales como las metodologías de adición de concentrado para producir diferentes grados de polietileno. La unidad 2 (U-2) tiene un proceso de tratamiento del producto mucho más limpio ya que produce unos grados de PEBD de muy alta calidad y con unas especificaciones muy concretas destinados p.ej. al aislamiento de cables subterráneos o a la industria farmacéutica.

Las etapas (Ref.14) principales de este proceso son: la compresión primaria (y auxiliar), la compresión secundaria, la reacción, la separación, la extrusión y el reciclado de alta presión.

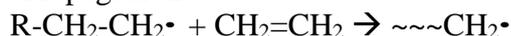
#### 3.8.1. Descripción del proceso

Las variables claves para la obtención del PEBD son un iniciador rico en oxígeno<sup>5</sup> que fuerce la polimerización por radicales libres del etileno (descrita a continuación) y las altas presiones para lograr la baja densidad del producto:

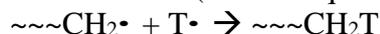
·Iniciación:



·Propagación:



·Terminación (T es cualquier otro radical que se encuentre en el medio de reacción):



·Transferencia de cadena

Este es un proceso altamente exotérmico, al tratarse de una polimerización a altas presiones de un monómero con un calor de polimerización mucho mayor que la media de otros monómeros (Ref.15), por lo que es indispensable un buen control de la presión y temperatura para evitar descomposiciones y *runaways*.

Tabla 3.8. Comparación del calor de polimerización entre monómeros.

Monómero	Calor de polimerización (cal/g)
Etileno	800
Isobutileno	228
Estireno	164

<sup>5</sup> Las referencias a catalizador (o cat) de aquí en adelante son siempre referidas a iniciador (ya que un catalizador no participa en una reacción mientras que un iniciador sí), aunque se use catalizador comúnmente.

Cada unidad dispone de dos tanques de almacenamiento de etileno: el tanque de alta (tanque pulmón) y el de baja. El tanque de alta está ligeramente presurizado, mientras que el de baja es atmosférico. El único que alimenta etileno es el de alta, pues el de baja almacena el reciclo para su posterior compresión hasta la presión del tanque de alta para volver a entrar en el proceso como materia prima.

Para alcanzar las altas presiones que requiere este proceso se necesitan de varias etapas de compresión progresiva y de varios compresores (refrigerando entre compresiones para compensar el calor absorbida por el etileno gas). El etileno del tanque de alta alimenta el compresor primario de 3 etapas, que suministra la presión necesaria para su compresión secundaria.

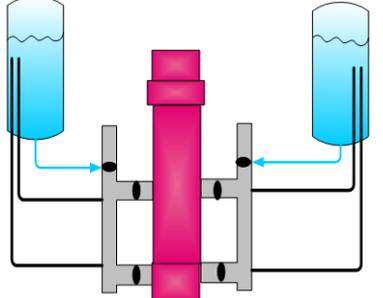
Esta corriente es refrigerada y alimentada al compresor secundario (el hipercompresor), donde pasa por otras dos etapas con refrigeración intermedia (cuanto más fría está la alimentación gaseosa, más capacidad de producción tiene el compresor). En cada etapa se dividen en dos las corrientes y se comprimen de forma paralela, de modo que el compresor secundario tiene finalmente 4 salidas que alimentan al reactor (llamadas 4 caminos).

En el reactor se alimentan dichas 4 salidas y el catalizador, creando un gradiente de temperaturas en las diferentes alturas –o zonas separadas por deflectores– del reactor. El catalizador circula por un sistema independiente de bombas y de compresores, dada la peligrosidad que supone su contacto con el monómero antes de su entrada al reactor, y la alta presión y poca cantidad que se debe suministrar (una proporción de oxígeno de 0,1% a 0,2% respecto del etileno gas).

La presión de operación para este tipo de producción ronda las 1000 atm y las temperaturas están en una región entre los 100°C y los 300°C. La conversión depende de la temperatura de operación, se encuentra en torno a 0,2.

Dado el estado gaseoso del etileno en el reactor y las altas presiones de operación, los discos de rotura cuentan con un sistema de inundación con agua que produce una reacción de hidratación para dar etanol y reducir así la gran peligrosidad que conlleva la salida de etileno gas a la atmósfera.

Tabla 3.9. Características y esquema de la reacción.

Reacción	Polimerización de etileno	
Tipo	Radicales libres	
Iniciador	Rico en oxígeno	
Conversión	≈0,2	
Presión	≈1000 atm	
Temperatura	100-300 °C	
Reactor	Autoclave adiabático	
Protección	Discos de rotura con sistema de inundación	

La salida del reactor entra a continuación en la etapa de separación. En esta etapa casi la totalidad del etileno sin reaccionar se recircula al proceso (se descomprime a la presión de alimentación del compresor secundario). Esta corriente vuelve directamente a la aspiración del compresor secundario, donde se incorpora a la corriente proveniente del compresor primario. Esto se traduce en que, de la totalidad que procesa el compresor secundario solo la cantidad de monómero que ha reaccionado viene del tanque de alta, mientras el resto es el reciclo del etileno no reaccionado.

La corriente de salida del separador se vuelve a descomprimir hasta presión atmosférica y entra en el silo extrusor. La corriente de cabeza del silo es el gas de retorno y tiene su propia refrigeración antes de volver al tanque de baja presión.

La etapa de refrigeración de los gases de retorno requiere de un mantenimiento mucho más a menudo que lo habitual, ya que se producen deposiciones de polímero sólido que haya sido arrastrado por el gas al enfriarse, haciendo que el intercambio de calor pierda eficacia por el ensuciamiento y por la función aislante del PEBD, con peligro de taponamiento a largo plazo.

El gas a presión atmosférica es recogido en el tanque de baja, que alimenta el compresor auxiliar donde se comprime el etileno hasta la presión de almacenamiento del tanque de alta presión, donde es enviado.

Por otro lado, por el fondo del silo extrusor, el polímero fundido pasa al proceso de extrusión. Para la fabricación de distintos grados de PEBD es imprescindible un reductor de velocidad de reducción variable.

El PEBD aún fundido es alimentado al usillo y procesado en el tornillo sin fin, cuya velocidad de giro se controla con la altura de la tolva de alimentación, a la vez que se combina con la velocidad de giro de la cortadora para fijar el diámetro del producto. Este plástico pasa por el filtrado y corte.

El sistema de corte bajo agua es una combinación entre el uso de cuchillas colocadas sobre una placa de corte con agujeros y el agua. Las cuchillas tienen una velocidad variable para regular la granulometría de la granza, y la placa dispone de un canal caliente por donde circula vapor para poder arrancar con normalidad y evitar sedimentaciones de polímero fundido en el extrusor.

Una vez terminado el proceso de extrusión, la granza pasa a un secador centrífugo para eliminar el agua de los granos y a continuación pasa por la criba: en esa zona se separan los granos finos de los gruesos, es donde se aísla de las imperfecciones el que va a ser el producto final. La criba tiene una pequeña entrada de aire a contracorriente para eliminar restos de etileno.

Los granos aptos son llevados a la torre de mezcla mediante transporte neumático de fase densa a través de una válvula rotativa (el plástico se deforma y pierde propiedades durante el transporte, así que la fase densa es la mejor manera de conservar su integridad). En las torres de mezcla se deja reposar la granza durante un tiempo y cuando varias torres están llenas, pasan a los silos de desgasificación.

En las torres de mezcla se llevan a cabo las tareas de pesado y de análisis de los requisitos de calidad del producto.

En los silos de desgasificación es donde se homogenizan los pellets producidos en diferentes momentos del día y que provienen de torres distintas y donde se deja en reposo el producto final para ventear cualquier resto de etileno gas que se pueda haber quedado en los granos o la mezcla.

El producto final tiene 3 posibles gestiones: o bien se almacena a granel, o bien se envasa (en sacos o en octavines).

Tabla 3.10. Propiedades del PEBD como producto final.

Propiedad	Descripción	Valor
IF (índice de fusión) o NF (número de fluidez).	Se mide el tiempo que tarda una masa de PEBD en atravesar un orificio calibrado. La fluidez es función de la longitud de las cadenas de polímero. IF alto: blando y procesable. IF bajo: duro con mejores propiedades mecánicas.	(A 190°C/2,16kg) Bajo: 0,25 a 4 g/10' Alto: 7,5 a 150 g/10'
Densidad	Las ramificaciones crean interferencias en el empaquetamiento de las cadenas (más ramificaciones, menos densidad).	915-955 kg/m <sup>3</sup>
RD (relación de dilatación)	Mide la elasticidad del fluido (el ensanchamiento y la memoria elástica cuando pasa por una boquilla). Determinado por grado de ramificación (Treac).	Lo más bajo posible.
Propiedades ópticas	Semicristalino, las ramificaciones provocan fracciones amorfas, que permiten el paso de luz.	Aspecto de film translúcido.

### 3.8.2. Arranque y parada automáticos

Los procesos de arranque y parada son los más críticos en cualquier planta industrial. La automatización es esencial para un funcionamiento seguro de la planta. Siendo un polímero el producto del proceso, factores como un perfil de temperaturas correcto durante el arranque y la parada para evitar solidificaciones dentro de los equipos o taponamientos son clave.

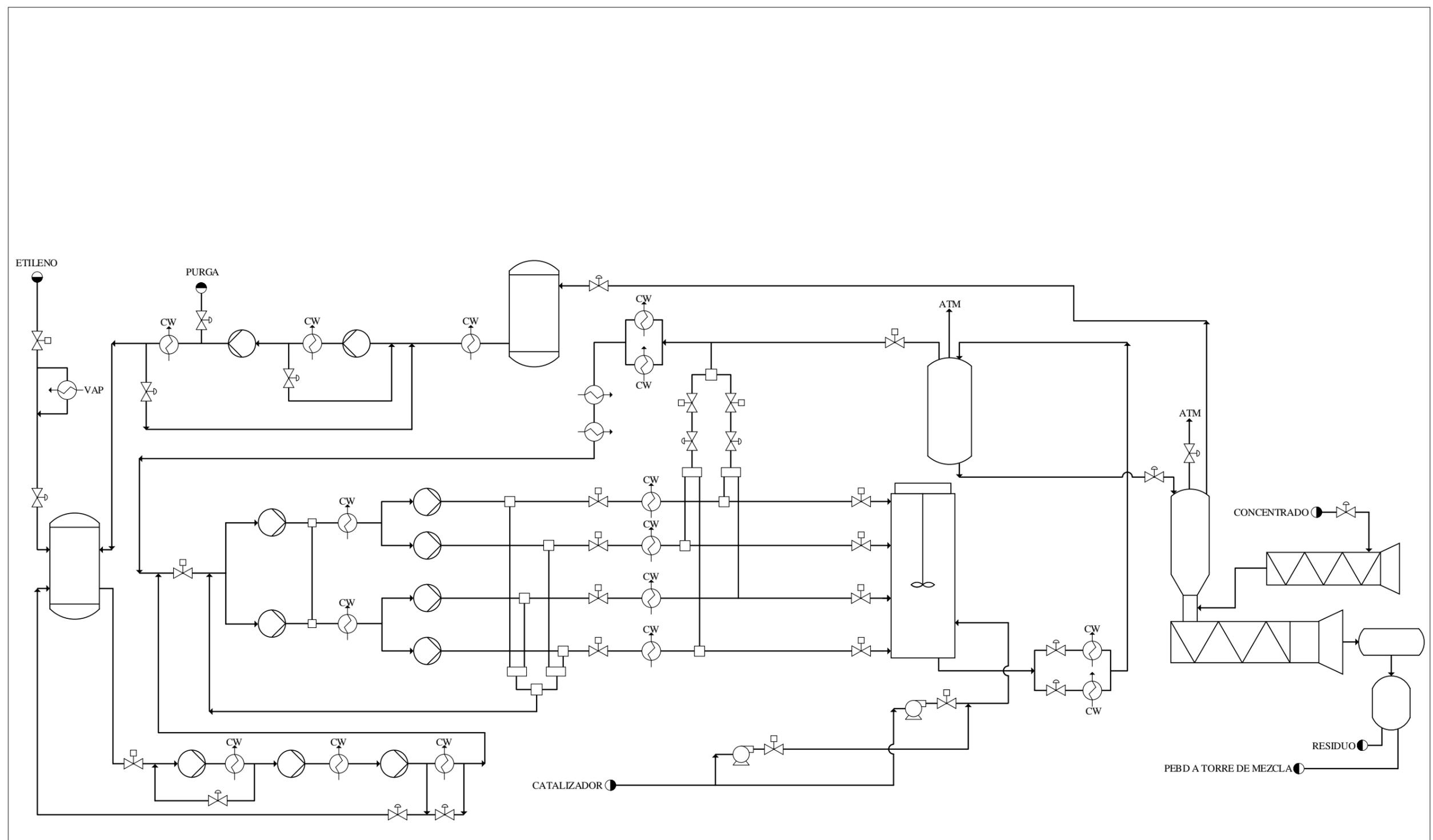
Los programas que ejecutan el arranque y la parada son extremadamente seguros (realizan comprobaciones constantes del estado para regular cualquier imprevisto), están duplicados (son redundantes al estar configurados en el HPM) y son interdisciplinarios (implicando variables tanto de operación, como de servicios, como de seguridad y enclavamientos). Estos programas son independientes del sistema de seguridad.

El arranque tiene varios pasos clave en su secuencia (desde las comprobaciones previas hasta la apertura de las válvulas de alimentación de etileno gas al reactor). Y las paradas, como se muestra en la siguiente tabla (matriz de primeros defectos) se clasifican en diferentes tipos según la causa de paro (Ref.16), y cada tipo tiene alguna particularidad en su secuencia de paro, teniendo en cuenta que gran parte de los pasos son comunes.

Para que tenga lugar una parada de emergencia un transmisor de campo debe mandar una señal asociada a una variable de operación concreta y el valor de dicha señal debe estar fuera de los valores tarados. Además, se debe cumplir la lógica por votación, que indica cuántos transmisores deben dar una señal de anomalía respecto el total de transmisores que son indicadores de esa misma variable. En ese caso, se activa una señal de primer defecto, que será la que active la parada de emergencia y con actuaciones propias independientes de las del programa (que vendrán del SM).

En el anexo A.8. se pueden ver con más detalles las características comunes e individuales de las secuencias y programas de arranque y paro.

### 3.9. Diagrama de proceso



Repsol Química	Realizado	SAT	23.02.21
	Visto bueno	OQG	22.04.21
<i>PROCESS FLOW DIAGRAM: PLANTA DE PEBD (UNIDAD 2)</i>			
Anexo 3.9	PLANO N° TFGEQ_2102_URV_1		Rev. 01

#### 4. ESTUDIO DE LOS ANTECEDENTES Y ALARMAS ACTUALES

Los avances hechos hasta ahora con el tratamiento de y la documentación de alarmas se ven enmascarados por avalanchas de alarmas que disparan en las puestas en marcha y paradas, que son leídas como valores anormales de operación. Por este motivo, se requiere la dinamización de las alarmas para estos dos estados antes de seguir con la racionalización.

Las paradas programadas o provocadas por los operadores se llevan a cabo deteniendo las bombas de alimentación de catalizador provocando una parada por pérdida de reacción (la más segura). Esto hace que la pérdida de reacción sea una causa de parada muy común y suponga el 25% del total de paradas<sup>6</sup>.

La mayoría de paradas de emergencia, por otro lado, tienen lugar por la pérdida de presión en algún equipo, como indica el siguiente gráfico con la recopilación de todas las paradas y motivos (primeros defectos) de 2020.

También se observa que los equipos que más paradas provocan son los considerados más críticos (el reactor y el compresor secundario) porque están mucho más monitoreados y sus desviaciones tienen unas consecuencias mucho mayores sobre la planta que la resta de equipos.

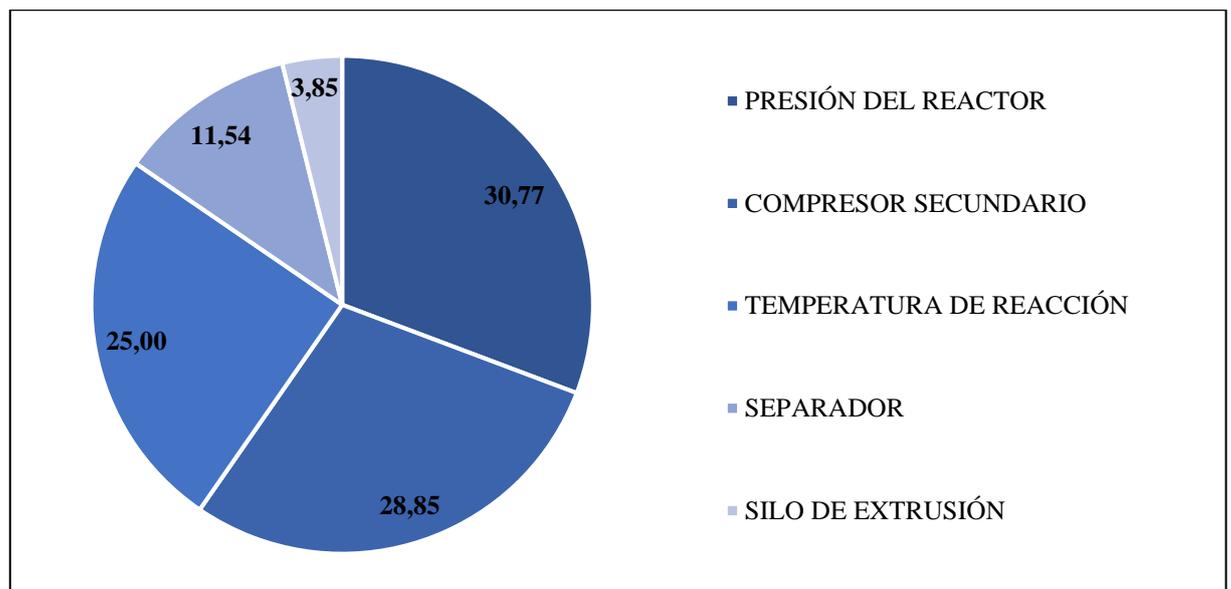


Figura 4.1. Porcentaje de causas de parada del año 2020.

Para comprender la magnitud en la que las paradas de la planta afectan a las medias de alarmas anuales, en el siguiente gráfico se muestra una recopilación (a partir de datos históricos de las dos unidades) de la media de alarmas disparadas durante arranques y paradas, puestas en comparación con la planta en estado estacionario de operación o de parada.

Los datos se dan en magnitud de % de alarmas cada 10 minutos en comparación con la media de alarmas totales anual de la planta también cada 10 minutos. Este gráfico NO compara los valores con los KPIs (1 alarma cada 10 minutos como tolerable y 2 como máximo).

<sup>6</sup> Interpretando los datos históricos no se puede discriminar si la parada por pérdida de reacción se ha dado por una anomalía real en el proceso de reacción o por la parada de las bombas de alimentación de forma manual.

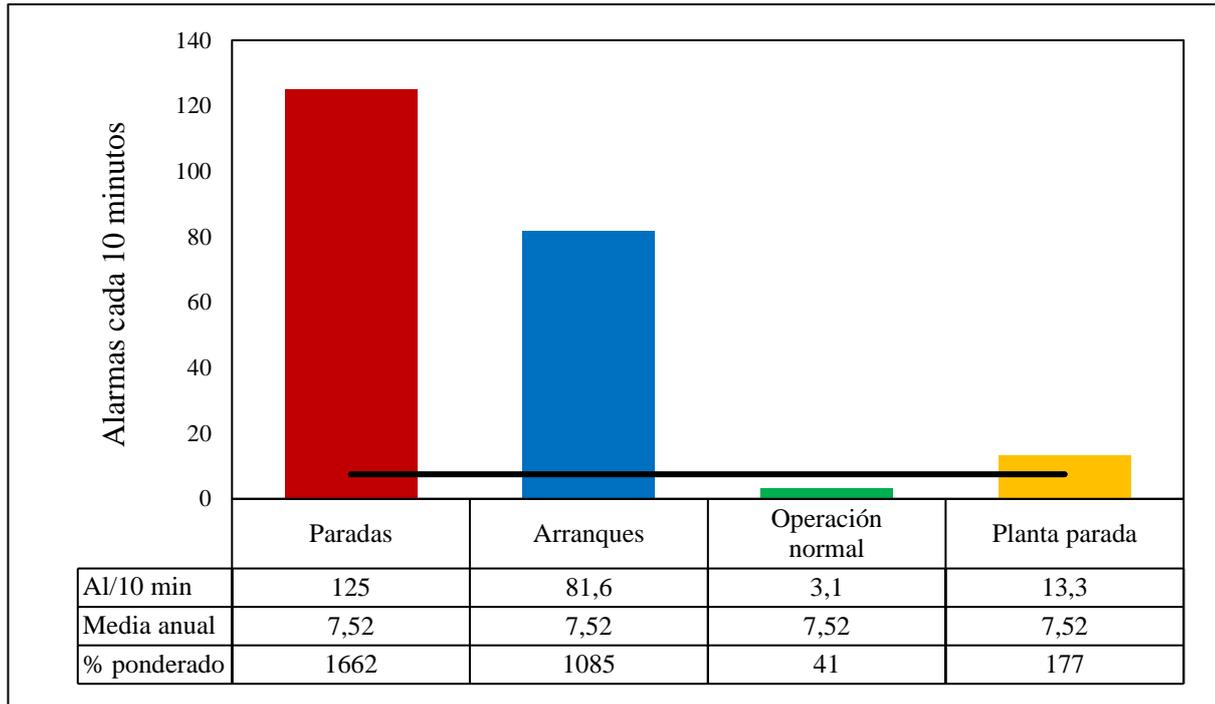


Figura 4.2. Alarmas anunciadas cada 10 minutos según modo de operación respecto media anual de la planta (muestras en A.10.1.).

Partiendo del 100% de alarmas anunciadas durante el año 2020 (haciendo una media de las alarmas cada 10 minutos), se observa que los modos de arranques y paradas colaboran con muchísimo peso al recuento total de alarmas (donde las alarmas en operación normal apenas representan la mitad del total).

El sistema de alarmas de la planta pasó por una auditoría en 2019 (Ref.17), cuando se declaró el sistema como sobrecargado según el criterio de rendimiento de sistemas de alarmas (véase anexo A.4). Las avalanchas eran habituales (llegando a triplicar los valores de buenas prácticas fijados por la empresa). El rendimiento de alarmas disminuía muy rápidamente durante las desviaciones de proceso, haciendo hincapié en las operaciones de arranque. También abundaban las alarmas permanentes y se daban algunos casos de alarmas repetitivas e informativas.

Durante el año 2020, el departamento de O&C se centró en el tratamiento de *Bad Actors*, y la planta se encuentra ahora en un estado reactivo (con algunas características estables de forma puntual, como el tratamiento sistemático de *Bad Actors*).

Según los criterios de la filosofía de alarmas, el sistema de alarmas de la planta en este momento es un sistema bastante fiable y útil durante la operación normal, pero inutilizable durante grandes perturbaciones en la planta. El sistema emite algunas alarmas de advertencia útiles, pero siguen quedando alarmas de poco valor, que reducen la confianza de los operadores.

En este proyecto, al tratar las alarmas de arranques y paradas exclusivamente, se fija el valor objetivo de reducción de entre un 10 y un 20% de las alarmas en un periodo de medio año (solo en los modos de arranque y parada). La evaluación de las mejoras tendrá lugar una vez se hayan implementado todas las dinámicas propuestas.

A consecuencia de la reducción que van a suponer las dinámicas de alarmas implementadas y la colaboración fuera de alcance del proyecto en el tratamiento de *Bad Actors* (reuniones semanales como parte de la estancia en la empresa) se espera también alcanzar un objetivo de mejora anual del 5% respecto de las alarmas totales de la planta<sup>7</sup>.

El rendimiento objetivo del sistema de alarmas de la planta de una vez implementadas las dinámicas es el estable: una frecuencia de alarmas bajo control en la mayoría de las situaciones, previsibles, donde las dinámicas tienen un efecto directo y notable sobre la reducción de alarmas, un sistema fiable en todos los modos de operación (incluso con perturbaciones) y en el que los operadores puedan confiar y responder solo ante alarmas necesarias.

Para reducir el número total de alarmas, se empieza por la implementación de dinámicas para las dos desviaciones que más alarmas provocan: las paradas y los arranques.

Para proponer las dinámicas que reducirán el número de alarmas innecesarias y usando *InfoPlus*, se localizan las puestas en marcha y paradas de los últimos dos años (desde enero de 2019 hasta noviembre de 2020) según dos criterios cuyos gráficos son muy intuitivos: la marcha o no del agitador del reactor (M\_P204) y las caídas de presión del reactor (PIC520).

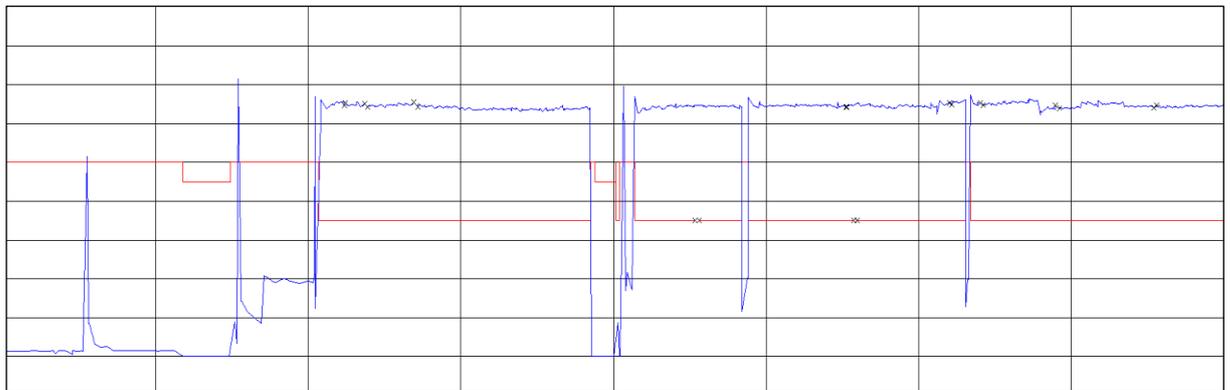


Figura 4.3. Tendencia de presión del reactor (azul) y marcha del agitador (rojo).

Concretando en un período de tiempo de caída de presión y paro del agitador (y su recuperación), se asocia a una parada y un arranque y se observa la siguiente tendencia:

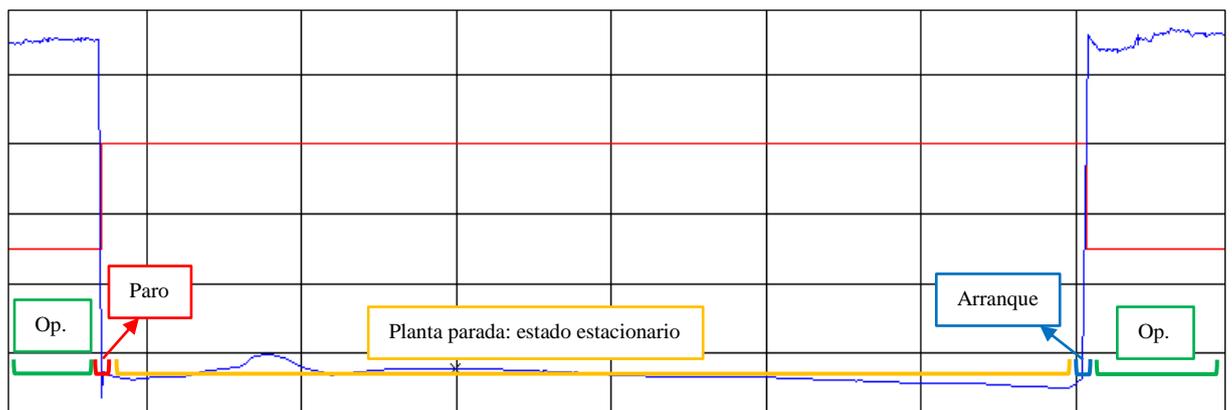


Figura 4.4. Comportamiento de la presión (azul) y del agitador (rojo) en una parada y arranque.

<sup>7</sup> La planta incluye las 2 unidades gemelas de producción de PEBD (objetivo de la implementación de dinámicas), el transporte neumático, los silos y las dos líneas de extrusión de compuestos (CC: fuera del alcance).

Con la herramienta GestTDC, se recopilan las alarmas disparadas en el período de la parada para observar las alarmas presentes entre el disparo de un primer defecto<sup>8</sup> y su retorno. Para cubrir más casos heterogéneos de parada (siendo programadas la gran mayoría) se amplía el período de búsqueda y se filtra por primeros defectos para localizar tipos de parada poco comunes, p.ej. por anomalías en el silo extrusor.

Una vez agrupados varios eventos de cada primer defecto, se analiza cada alarma y su contexto (si forma parte de la secuencia de parada o no, si el disparo se produce por un valor alto o por uno bajo, si es intermitente...), y se seleccionan las candidatas a ser incluidas en el programa dinámico de parada, a ser cambiadas o revisadas por mala configuración o bien a ser directamente eliminadas por criterios de filosofía de alarmas.

Una vez la lista ha pasado por un primer análisis y se han recopilado todas las candidatas a ser incluidas en grupos dinámicos (o alarmas a comentar por otras discrepancias encontradas durante el análisis), y se convoca una reunión con los departamentos de producción y proceso para discutir si las alarmas propuestas pueden ser sometidas a los cambios o dinámicas.

Durante el proceso de formación y análisis, se localizan equipos concretos cuya marcha o paro no siempre depende del de la planta, como el caso del compresor primario, que se arranca de forma manual unos minutos antes que el programa de arranque de la planta, por lo tanto, va a necesitar una dinámica propia, ya que no puede quedar con las alarmas suprimidas hasta haberse puesto en marcha la planta.

En el siguiente gráfico se muestran el peso (%) de alarmas que suponen los equipos y servicios principales de entre el total de alarmas disparadas en una parada programada:

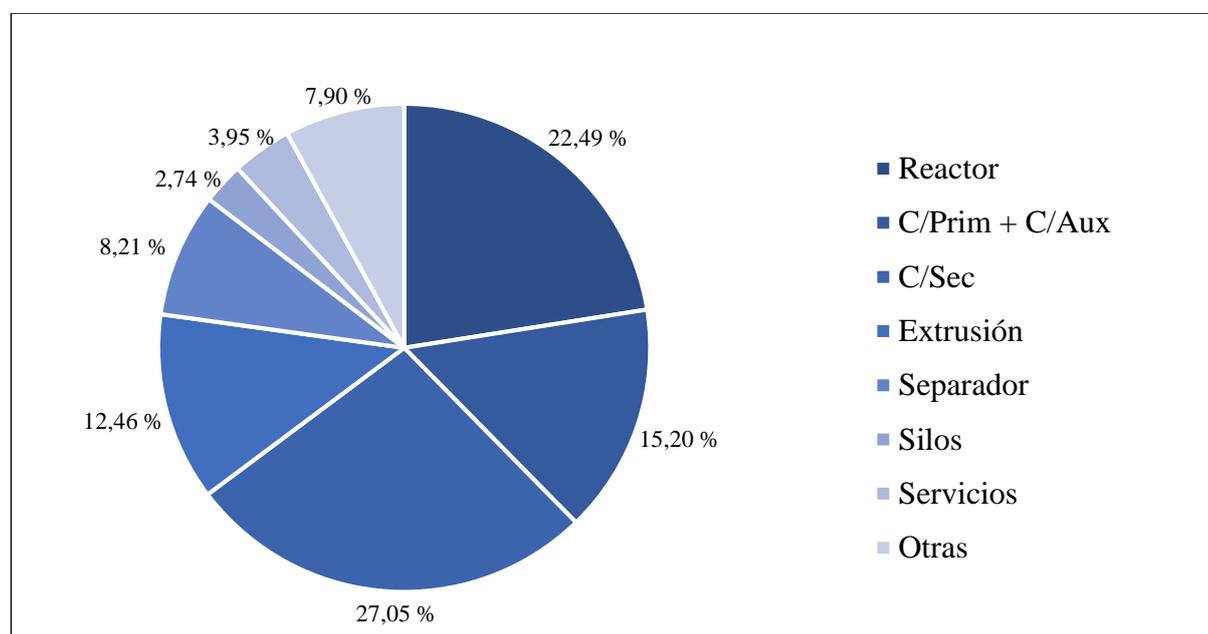


Figura 4.5. Ponderación de alarmas por equipos en una parada programada.

Algunos de estos equipos serán desencadenantes de una dinámica de alarmas con su propia parada, mientras otros equipos suprimirán sus alarmas con la parada de la planta.

<sup>8</sup> Alarma de paro de planta que indica la causa de ésta según la matriz de causa-efecto de paradas.

## 5. ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE DINÁMICAS DE ALARMAS

Las paradas de planta son los eventos que más alarmas hacen saltar: hasta 60 veces más que en operación normal. A corto plazo, eso hace que el operador no pueda abarcarlas todas, no pueda discriminar entre las alarmas que forman parte de la secuencia normal de parada y las que indican un comportamiento anormal para ese contexto, y termine ignorándolas todas, con el riesgo que eso conlleva.

Una consecuencia a medio-largo plazo es que estos valores incrementan de forma notable la media de alarmas y los informes mensuales y anuales se ven afectados aun habiendo tenido una operación correcta y con pocas alarmas durante el resto de tiempo.

Es importante un análisis profundo e interdisciplinar para poder seleccionar qué alarmas pueden ser silenciadas y cuáles siguen suponiendo un peligro para una planta parando. Algunas conclusiones comunes del análisis (en todos los tipos de parada equipos) son las siguientes:

Siempre y cuando se silencien las alarmas de variables que no son consideradas anormales o peligrosas en modo de parada (como las bajas presiones y bajas temperaturas) y que éstas sean silenciadas después del disparo de un primer defecto<sup>9</sup> (donde la parada ya no puede ser interrumpida) no van a suponer un peligro para la planta en primera instancia al ser previsibles.

Adicionalmente, en el análisis de alarmas durante una parada se han hecho decenas de reproducciones (incluyendo distintos tipos de parada de emergencia y el estudio de ambas unidades), siempre consultando la secuencia con el programa de paradas y con los departamentos de producción y proceso para clasificar como seguras todas las decisiones tomadas respecto la supresión de cada alarma.

Las propuestas que son desglosadas para cada equipo y que forman parte de la secuencia normal de parada<sup>10</sup>, después serán configuradas en una sola dinámica principal, donde todos los primeros defectos serán los desencadenantes de forma homogénea para activar una misma dinámica en todos los tipos de parada, independientemente de cuál ha sido la causa.

Algunos equipos pueden encontrarse en marcha aun estando la planta parada (o arrancar antes del arranque general de planta para alcanzar las condiciones de arranque necesarias). Estos equipos tendrán dinámicas propias de marcha y paro, ajenas a la dinámica de primeros defectos.

Tabla 5.1. Leyenda de las resoluciones de modificación de alarmas.

Clave	Descripción
TR	Desencadenante de dinámica ( <i>trigger</i> )
DIN	Incluir en la dinámica principal
DIN-nº	Dinámica ajena a primer defecto
NA	No se incluye en la dinámica
REV	Reevaluación y/o revisión de alarma
EP	Eliminación permanente alarma
PR:	Cambio de prioridad
APR	Aprobación por parte del dpto. de producción

<sup>9</sup> Los primeros defectos son unas señales relativamente nuevas que muestran el motivo exacto de parada de la planta, ya que las señales de parada se manifiestan de forma simultánea (la mayoría de las veces solapadas) y era difícil discriminar el motivo real de parada.

<sup>10</sup> La primera clasificación se lleva por variables de equipos, pero no necesariamente todas las alarmas asociadas a cierto equipo pertenecerán a la misma dinámica o al mismo grupo de rearme (apartado 5.6).

### 5.1. Compresor primario y compresor auxiliar

El compresor primario (C/Prim) y el compresor auxiliar (C/Aux) se analizan de forma conjunta porque comparten un mismo motor, por lo tanto, sus alarmas se pueden incluir en una dinámica común con un mismo desencadenante: el paro de este motor.

El paro de estos equipos es delicado porque no provocan paradas de planta por sí solos, pero el efecto que tienen sobre el compresor secundario es directo (dejándolo sin alimentación y presión) y la planta termina parando por el paro del compresor secundario. En casos muy excepcionales y con una actuación por parte del operario inmediata, el paro de la planta se podría evitar si se pusieran en marcha las bombas de lubricación del compresor primario, pero este es un suceso lejos de lo común, generalmente el paro de los compresores primario y auxiliar termina en la parada de la planta.

El motivo principal para hacer una dinámica independiente con estos equipos es la puesta en marcha. Los C/Prim y C/Aux deben arrancar unos minutos antes de la puesta en marcha de la planta, para alcanzar las condiciones que van a asegurar la operación del compresor secundario y el reactor, equipos clave que interrumpirían el arranque si no operan a la presión y temperatura de consigna.

Si el arranque del compresor primario falla, se debe esperar antes de volver a ponerlo en marcha para normalizar sus condiciones, así que sus alarmas son necesarias en ciertos momentos en los que la planta aún no ha arrancado pero el compresor primario sí.

Tabla 5.2. Propuesta de dinámica: paro y rearme del compresor primario y auxiliar.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
XA2002	MARCHA	OFFNRM	EMRGNCY	TR/DIN-2	APR	TR/ DIN-2
A231	ANOMALÍA	OFFNRM	LOW	TR/DIN-2	REV	NA
PIC114	3 ETAPA	PVLO	LOW	DIN-2	REV	TR/ DIN-2

Como se puede observar en la tabla anterior, la primera propuesta también incluía la anomalía como desencadenante, porque su alarma siempre viene seguida de un paro del motor, pero el departamento de producción consideró que ésta era necesaria para la localización y el diagnóstico de problemas (no se trata de una alarma común en todos los paros del compresor) y se mantuvo el paro como único *trigger*.

En cuanto al rearme, se propone una doble condición para evitar una avalancha de alarmas en el periodo entre la puesta en marcha y las condiciones de operación normales. El departamento de producción considera que la presión de impulsión de la última etapa es un buen indicador del alcance de los SP: se fija como valor de rearme el mismo valor que está tarado como “bajo”, de forma que, a no ser que aparezca alguna fluctuación posterior, ninguna alarma sonará hasta que el compresor haya alcanzado dicha presión.

### 5.1.1. Compresor primario

La presión es una variable clave para la operación de los compresores primario. Las presiones bajas pueden provocar la parada del compresor de forma directa o bien afectar a la alimentación del secundario, en cualquier caso, abocando en la parada de la planta.

El grupo de señales de baja presión que disponen de alarmas son propuestas en conjunto para ser incluidas en la dinámica de paro de los compresores, ya que se trata de una tendencia común en caso de paro de equipo y cuya supresión no supone un peligro civil ni material.

Por su parte, las altas presiones del compresor también pueden afectar de forma directa a la alimentación del compresor secundario y suponen cierto peligro de sobrepresión. Estas alarmas fueron localizadas en casos históricos, y aunque no se propongan para su inclusión en la dinámica, se recopilan y clasifican para una revisión por parte del departamento de producción, para el diagnóstico de cuáles son condiciones anormales en una parada.

Tabla 5.3. Propuesta de dinámica: presiones del compresor primario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
HPA127	ALTA PRES	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	NA
PIC245	3 ETAPA	PVLO	LOW	DIN	REV	DIN-2
PIC245	3 ETAPA	PVHI	HIGH	REV	APR	REV
PIC114	3 ETAPA	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN-2
		PVLL				
PIC114	3 ETAPA	PVHI	HIGH	REV	APR	REV
		PVHH	EMRGNCY			
PIC127	3 ETAPA	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN-2
	BY-PASS	PVLL				
PIC127	3 ETAPA	PVHI	HIGH	REV	APR	REV
	BY-PASS	PVHH	EMRGNCY			
PIC128	1 ETAPA	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
	BY-PASS					
PIC245	VALV DE REFLUJO	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN-2
PIC245	VALV DE REFLUJO	PVHI	HIGH	REV	APR	REV
PIC114	BY_PASS GENERAL	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN-2
PIC114	BY_PASS GENERAL	PVHI	HIGH	REV	APR	REV
		PVHH	EMRGNCY			
PN114A	LPA 1 ET	OFFNRM	HIGH	DIN	APR	DIN-2

Las temperaturas son variables que se usan más de cara a la indicación, porque su rango es amplio y depende de la eficiencia de refrigeración, de la temperatura ambiente, etc. y puede afectar a la temperatura de alimentación al reactor, y por lo tanto a la conversión.

Las alarmas de alta temperatura, a diferencia de las de alta presión, no han disparado en casos históricos de parada, y algunas de las señales ni siquiera tienen una alarma de alto valor configurada. Así pues, en la propuesta de dinámica se incluyen todas las bajas temperaturas del compresor (que no suponen ningún peligro), junto con la revisión de una de ellas por problemas detectados en la señal.

Tabla 5.4. Propuesta de dinámica: temperaturas del compresor primario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
T226	IMPUL 1 ET	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
T238	IMPUL 2 ET	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
T239	IMPUL 2 ET	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
T242	IMPUL 3 ET	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN-2
TI119	IMPUL 3 ET	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN-2
TI141	ASPIR 3 ET	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
TI141	ASPIR 3 ET	BADPV	HIGH	REV	APR	REV
T240	ASPIR 3 ET	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
T225	ASPIR 1 ET	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
TI118	ASPIR 3 ET	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN-2
TI117	DESGAS.	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN-2

Para el tratamiento de las alarmas de paro del C/Prim (por alta temperatura de cojinetes, baja temperatura de aspiración, alta presión de la 3ª etapa y paro de las bombas de lubricación) no incluidas en un principio, se usará una herramienta de DAS basada en la supresión de las alarmas pre-existentes (figura 7.2.), que por defecto siempre se encuentra activo. Esta herramienta consigue mantener las alarmas del grupo de *targets* en pantalla antes de que haya disparado el detonante.

Se propone seleccionar la opción de eliminar solo el último segundo de alarmas previas (la herramienta permite configurar el tiempo que se considere), por lo que se puede incluir en la dinámica del compresor sin que suponga ningún peligro, ya que el equipo se encuentra parado y el panelista puede visualizar si alguna de estas alarmas ha tenido lugar previamente a la parada para poder diagnosticar la causa de paro.

Tabla 5.5. Propuesta de dinámica: paros y altas temperaturas del compresor primario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
SE010	ALT P 3A ET	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
SE011	ALTA T COJ1	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
SE012	ALTA T COJ2	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
SE013	ALTA T COJ3	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
SE014	ALTA T COJ4	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
SE015	ALTA R COJ5	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
SE016	BAJA T ASP	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
SE021	PARO C/P MANCEL	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN-2
T104	T COJINETE 1	PVLO PVHI	HIGH	NA	REV	DIN-2
T105	T COJINETE 2	PVLO PVHI	HIGH	NA	REV	DIN-2
T106	T COJINETE 3	PVLO PVHI	HIGH	NA	REV	DIN-2
T107	T COJINETE 4	PVLO PVHI	HIGH	NA	REV	DIN-2
T108	T COJINETE 5	PVLO PVHI	HIGH	NA	REV	DIN-2

Se aplica el mismo criterio a las señales de temperatura de los cojinetes (tanto las altas como las bajas). Se incluyen en la dinámica siempre y cuando las alarmas previas a la parada estas alarmas NO sean eliminadas del sumario.

Por otro lado, dado que las bombas de lubricación (MANCEL) deben ser puestas en marcha con anterioridad al compresor, el rearme de sus alarmas debe ser independiente del resto, por eso se decide implementar otra dinámica dentro del mismo programa del compresor primario, creando un *trigger* temporizado.

Mientras que el resto de alarmas se silencien con el paro del compresor y se rearmen con su marcha y la presión mínima, las alarmas de las bombas de lubricación serán silenciadas cuando el C/Prim lleve parado 2 minutos y su reactivación será con la marcha de las propias bombas de lubricación.

Tabla 5.6. Propuesta de dinámica: bombas de lubricación del compresor primario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
SE021	ENCL C/P MANCEL	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-2	APR	DIN-3
ALP2	MARCHA MANCEL	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-2	APR	TR/ DIN-3
FN222A	LFA MANCEL	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-2	APR	DIN-3

### 5.1.2. Compresor auxiliar

Las consecuencias del paro del compresor auxiliar son simultáneas a las del compresor primario al abastecerse con el mismo motor. Las señales con alarma asociada son escasas y hacen hincapié en las condiciones de temperatura antes y después de la refrigeración, con alguna señal de enclavamiento por baja presión.

Las alarmas de la siguiente lista son siempre de bajo valor, en ningún caso histórico se han localizado alarmas de alto valor fuera de la secuencia normal de una parada que requieran un diagnóstico por parte del departamento de producción. Al tratarse de condiciones normales en todos los casos, son propuestas y aprobadas para su inclusión en la dinámica del C.Prim.

Se localiza, por otro lado, un *bad actor* cuya señal es intermitente, provocando avalanchas y siendo una de las alarmas con más eventos en los informes de KPI de varias semanas. Esta alarma es de muy baja presión en la 1ª etapa (PN235A) y al ser tratada desde la filosofía de alarmas, se decide eliminar de forma permanente en vez de incorporarla a la dinámica, junto a la de muy alta presión (PN218B) dado que son intermitentes a la vez que duplicadas de PIC218 (dan la misma información).

Tabla 5.7. Propuesta de dinámica: alarmas del compresor auxiliar.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
PIC218	1 ETAPA	PVLO	LOW	DIN-2	APR	DIN-2
PN218B	HPA 1 ET	OFFNRM	HIGH	REV	REV	EP
PN235A	LPA ASPIR	OFFNRM	HIGH	DIN-2/ REV	REV	EP
TI211	ASPIR 1 ET	PVLO PVLL	LOW	DIN-2	APR	DIN-2
TI214	SAL 1 ET ANTES REF.	PVLO	LOW	DIN-2	APR	DIN-2
TI219	ASPIR 2ET	PVLO	LOW	DIN-2	APR	DIN-2
TI221	IMP 2 ET ANTES REF.	PVLO PVLL	HIGH	DIN-2	APR	DIN-2
TIC224	IMP 2 ET DESP REF.	PVLO	HIGH	DIN-2	APR	DIN-2
T227_1	IMP FINAL DESP REF.	PVLO	LOW	DIN-2	APR	DIN-2

## 5.2. Compresor secundario

La operación normal del compresor secundario (C/Sec o C/S) es esencial para el cumplimiento de las especificaciones de presión, temperatura y caudal de la alimentación al reactor, así pues, un funcionamiento anómalo de éste pone en riesgo la planta.

Algunas de estas anomalías (en el sistema de lubricación, las temperaturas de los cojinetes o los bajos caudal y/o presión de aire del motor) provocan el paro del compresor (y como consecuencia, la parada de la planta), mientras que otras variaciones en las condiciones de operación son un primer defecto en sí mismas y ejecutan una parada de emergencia. El compresor secundario es el primer equipo en detenerse con la orden de parada de la planta.

Las alarmas asociadas al compresor secundario son esenciales en los momentos previos al paro del equipo, ya que pueden evitar incidentes y paradas de emergencia si son tratadas correctamente. Pero una vez ha parado el compresor, muchas de las alarmas que avisan de una condición anómala de operación deben ser silenciadas porque dichas condiciones son normales en una parada (es clave para el tratamiento de *Bad Actors* que cada estado de la planta tenga activas solo las alarmas que suponen una tendencia atípica de las variables).

El paro del equipo lleva varias alarmas asociadas, como las confirmaciones de marcha/paro o la baja eficiencia de los cilindros del compresor. Todas estas alarmas tienen una función imprescindible cuando la planta está en estado de operación normal, pero en caso de parada con un primer defecto ya activo y el monitoreo del operador, se propone incluir todas las alarmas que indican el paro del compresor dentro de la dinámica al no tener consecuencias para la seguridad.

El equipo de producción, por otro lado, propone mantener una de ellas (el *trigger*), para que los operadores dispongan del aviso sonoro de la parada del equipo, estén informados del punto de la secuencia en la que se encuentran y puedan dar órdenes a los operadores de campo y de toma de acciones (en caso necesario) con la seguridad de que el compresor está parado. Después de discutir la necesidad de tener dicha alarma activa cuando el paro del equipo se puede apreciar desde el panel de control, se llega a una propuesta final de reducir su prioridad de EMERGENCY a LOW dentro de la dinámica principal según la filosofía.

Tabla 5.8. Propuesta de dinámica: parada del compresor secundario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
SW23SP	PARO	OFFNRM	EMRGNCY	TR/DIN	REV	PR:LOW
A203	PARO	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
M_P203	MARCHA	-	-	DIN	APR	DIN
	PARO					
R203DP	PARO	OFFNRM	LOW	DIN	APR	DIN
EFCIL2	EFICACIA	BADPV	LOW	DIN	APR	DIN

### 5.2.1. Presión y temperatura

Las alarmas de baja presión de impulsión en las segundas etapas y la baja presión media de los 4 caminos disparan de forma simultánea a la alarma de parada del compresor (paro del motor M-203). Estas alarmas tardan como máximo un minuto en disparar después de la alarma de cualquier primer defecto.

En primer lugar, teniendo en cuenta la simultaneidad de las alarmas de baja presión y paro del equipo, mantener las alarmas de baja presión es inútil, ya que el equipo va a parar de todos modos por la secuencia programada y el tiempo de maniobra del que dispondría el operador en caso de querer tomar medidas sería de décimas de segundo, por lo que no podría tomar ninguna acción.

A demás, una vez ha disparado la alarma de primer defecto, la parada de la planta no puede ser interrumpida, así que las alarmas de baja presión cobran un sentido exclusivamente informativo. Es una tendencia totalmente normal con la parada de la planta que las presiones disminuyan, y eso no supone ningún peligro para los equipos, personas y/o medioambiente, así que se propone su inclusión en la dinámica después de evaluar los datos históricos.

Con la disminución de la presión, también disparan las alarmas de muy baja presión que son desencadenantes de la parada de emergencia por paro del compresor, de modo que, si fueran silenciadas, se ganaría la reducción de un grupo de alarmas que no suponen ningún riesgo.

Tabla 5.9. Propuesta de dinámica: presión en impulsión del compresor secundario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
PI320	IMP 1 ET	PVLO PVLL	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL320	IMP 1 ET	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PI401	IMP CIL 1	PVLO PVLL	HIGH	DIN	APR	DIN
PI402	IMP CIL 2	PVLO PVLL	HIGH	DIN	APR	DIN
PI403	IMP CIL 3	PVLO PVLL	HIGH	DIN	APR	DIN
PI404	IMP CIL 4	PVLO PVLL	HIGH	DIN	APR	DIN
PI400	P MEDIA 4 CAMINOS	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN
PAL401	IMP CIL 1	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL402	IMP CIL 2	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL403	IMP CIL 3	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL404	IMP CIL 4	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN

Las alarmas de baja temperatura de impulsión (y baja temperatura de entrada al reactor) también son normales en una parada, y teniendo en cuenta que son corrientes que llevan etileno a temperatura ambiente, no implican ningún peligro de solidificación dentro de la línea. En operación normal, dichas bajas temperaturas tienen dos funciones: la de diagnóstico de la eficiencia del compresor secundario y la de diagnóstico de posible pérdida de la reacción.

La eficiencia del compresor secundario tiene su propia alarma asociada, pero ésta tiene una prioridad baja, ya que se usa sobre todo para una acción a medio-largo plazo, como las revisiones y tareas de mantenimiento por una baja eficiencia constante. Para el diagnóstico puntual, un buen indicador es la temperatura de impulsión, que depende por una parte de la temperatura ambiental y clima en el momento dado, y de la eficiencia y conservación de energía del propio compresor.

Las temperaturas de impulsión no tienen ningún enclavamiento directo asociado, pero si se diera el caso de una bajada considerable en las temperaturas de alimentación al reactor, esto tendría un efecto directo sobre la temperatura de reacción, dando como consecuencia la parada de emergencia de la planta por pérdida de la reacción (detectada en la entrada del reactor).

Estas indicaciones y alarmas de temperatura, pues, no suponen ninguna necesidad en el contexto de parada de la planta, ya que tanto el compresor como el reactor se encuentran parados y quedan descartados los peligros por pérdida de reacción a la vez que la baja eficiencia.

Tabla 5.10. Propuesta de dinámica: temperatura en impulsión del compresor secundario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
T306_1	IMP CIL 1B.	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T307_1	IMP CIL. 1A	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T312_1	IMP CIL. 2B	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T313_1	IMP CIL. 2A	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T314_1	IMP CIL. 2D	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN
T315_1	IMP CIL. 2C	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TIC430 <sup>11</sup>	ENTR 2D	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TIC431	ENTR 2C	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TIC432	ENTR 2A	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TIC433	ENTR 2B	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN

En cuanto a las corrientes de aspiración del compresor secundario, el seguimiento clave está en el perfil de temperaturas. Las bajas temperaturas durante la parada, al igual que las de impulsión descritas anteriormente, no suponen ninguna anomalía (ya que dan el diagnóstico de la eficiencia de la primera etapa e indican la temperatura de entrada a la segunda para poder interpretar también su eficiencia), así que también son propuestas para ser silenciadas.

Tabla 5.11. Propuesta de dinámica: temperaturas de aspiración del compresor secundario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
T326_1	ASP CIL 2D	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T327_1	ASP CIL 2C	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T328_1	ASP CIL 2B	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T329_1	ASP CIL 2A	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN
TI316	ASP 2B-2D	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TI317	ASP 2A-2C	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T325	ASP CIL 1A	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN
T325	ASP CIL 1A	PVHI	HIGH	REV	APR	REV/NA
TIC304	ASP CIL 1B	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN

Ahora bien, el estado de paro del equipo tiene sus propias condiciones de normalidad, y hay ciertas alarmas que no pueden ser inhibidas. En una ocasión, la parada provocó disparos de alta temperatura, y en otra, dispararon alarmas de aperturas y cierres anormales tanto en aspiración como en impulsión.

<sup>11</sup> Las temperaturas TIC430 – TIC433 se encuentran después de la refrigeración intermedia del C/Sec, y aunque se traten con el compresor, son representadas en el PID del reactor (como temperaturas de alimentación).

Dado que una alta temperatura sigue siendo una condición anormal, se informa al departamento de producción para estudio del incidente puntual y la localización de la causa, pero no para su inhibición. Las altas temperaturas y presiones podrían provocar daños tanto en el compresor como en el reactor y derivar en incidentes más graves asociadas a sobrepresión si estos eventos no fueran tratados.

### 5.2.2. Válvulas de apertura y cierre de aspiración e impulsión

Las alarmas de apertura y cierre<sup>12</sup> son altamente importantes durante el proceso, ya que, si cerraran la aspiración o impulsión en modo de operación, se rompería un disco de rotura del compresor por sobrepresión. Pero con la planta parada es común abrir y cerrar tanto la aspiración como la impulsión por labores de mantenimiento o modificación del proceso.

De todos modos, es necesario una alarma en panel por cualquier posible apertura o cierre fuera de lo programado para tomar acciones al respecto. Al clasificar los riesgos que puede suponer esta maniobra, se concluye que la peligrosidad disminuye notablemente y las acciones de mitigación en caso *off-normal* no son tan urgentes cuando la planta se encuentra parada y el equipo vacío, así que se propone pasar la prioridad de estas alarmas de EMERGENCY a LOW única y exclusivamente cuando el compresor también esté parado.

Tabla 5.12. Propuesta de dinámica: válvulas de apertura y cierre del compresor secundario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
XI950A	ASP-A C/S	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI950C	ASP-C C/S	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI896A	IMP-A 2A	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI896C	IMP-C 2A	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI895A	IMP-A 2C	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI895C	IMP-C 2C	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI894A	IMP-A 2B	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI894C	IMP-C 2B	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI893A	IMP-A 2D	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW
XI893C	IMP-C 2D	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	REV	PR:LOW

### 5.2.3. Vibraciones de la carcasa y sistema de lubricación

Otra avalancha que tiene lugar es la de alarmas que indican una baja vibración de la carcasa del compresor. Las vibraciones deberían ser mínimas en operación normal y nulas en paro, así que se propone su reevaluación de los valores tarados como “bajos” en ambos modos, además de su silenciamiento con el paro del compresor. Desde el departamento de producción se concluye que estas alarmas no son indicadores suficientes de un posible fallo de equipo, ya que una baja vibración es una condición necesaria para la operación correcta, por lo que no debería ser alarma según la filosofía. Así pues, estas alarmas se descartan de la dinámica y se proponen para su eliminación de forma permanente.

<sup>12</sup> Siendo ASP-A: aspiración abierta, ASP-C: aspiración cerrada, IMP-A: impulsión abierta e IMP-C: impulsión cerrada.

Tabla 5.13. Propuesta de dinámica: vibraciones de la carcasa del compresor secundario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
XI249H	VIB HOR 2A	PVLO	LOW	DIN/REV	REV	EP
XI249V	VIB VER 2A	PVLO	HIGH	DIN/REV	REV	EP
XI250H	VIB HOR 2C	PVLO	LOW	DIN/REV	REV	EP
XI250V	VIB VER 2C	PVLO	HIGH	DIN/REV	REV	EP
XI251H	VIB HOR 2B	PVLO	LOW	DIN/REV	REV	EP
XI251V	VIB VER 2B	PVLO	HIGH	DIN/REV	REV	EP
XI252H	VIB HOR 2D	PVLO	LOW	DIN/REV	REV	EP
XI252V	VIB VER 2D	PVLO	HIGH	DIN/REV	REV	EP

El sistema de lubricación del compresor también se ve afectado por la parada, con alarmas de baja velocidad de las bombas que impulsan el aceite de lubricación a los cilindros. La propuesta inicial fue silenciarlas después de haber empezado la parada, pero el departamento de producción considera que la dinámica debería ir condicionada por el paro del compresor en sí, no por el paro de la planta, por el riesgo que supone para el equipo la no-lubricación de los cilindros y la gravedad de las consecuencias si no se localiza y actúa sobre estas alarmas.

Después de reevaluar los casos de paradas en donde estas alarmas disparan, se propone silenciarlas de forma temporizada cuando el compresor lleve 2 minutos parado y se reduzca drásticamente el peligro, con una propia dinámica. Estas alarmas se rearmarían con la puesta en marcha de las bombas de lubricación (ALS2\_A).

Existen 3 alarmas que también forman parte del sistema de lubricación, pero de uno común, así que no tienen señales asociadas exclusivamente al compresor. Son propuestas para su inclusión en la dinámica porque se trata de alarmas muy comunes en una parada (la parada del compresor secundario afecta de forma directa a la baja presión y temperatura de todo el sistema de lubricación) y porque se puede monitorear desde el panel en modo de parada. El departamento de producción, por su parte, rechaza la propuesta por el elevado nivel de atención por parte de los operadores que requieren otras variables más críticas, y la inhibición de estas alarmas añadirían un volumen de trabajo de monitoreo al operador que no compensa con la reducción de solo 3 alarmas respecto el total de la dinámica.

Tabla 5.14. Propuesta de dinámica: bombas de lubricación del compresor secundario.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
SN203F	BAJA VEL. IZQUIERDA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-4	REV	DIN-4
SN204F	BAJA VEL. DERECHA.	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-4	REV	DIN-4
SE041	ENCL C/S IZQUIERDA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-4	REV	DIN-4
SE042	ENCL C/S DERECHA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-4	REV	DIN-4
ALS2_A	BOM.ACEI. LUB	OFFNRM	LOW	TR/DIN-4	REV	TR/NA
TIC317	ACEITE C. CIGÜEÑAL	PVLL	HIGH	DIN-4	REV	NA
LPA204	BAJA P ACEI LUB	OFFNRM	HIGH	DIN-4	REV	NA

### 5.3. Reactor

Para un monómero como el etileno es crítica la temperatura a la que se trata, y su rango de operación es bastante reducido (tratándose de una reacción altamente exotérmica). Si se alcanzara la temperatura de descomposición, se daría un *runaway* térmico y una sobrepresión y, como consecuencia, un incidente de gran calibre, rompiendo los equipos y líneas a su paso y pudiendo terminar en una explosión. De la misma forma, una gran disminución de la temperatura supondría también un gran riesgo, provocándose la solidificación del polietileno dentro del reactor y con posible taponamiento o rotura de los equipos cercanos al reactor. Dada la delicadez y vulnerabilidad del proceso, se necesitan muchas capas de protección independientes y la redundancia de señales de presión y temperatura de operación.

Para el análisis de alarmas asociadas a primeros defectos del reactor, se han recopilado varios casos de paro de tipo 2 por pérdida de reacción por T1 (la pérdida de reacción por T4 suele presentarse como consecuencia de la pérdida por T1). Esta es la parada más común, porque las paradas programadas llevadas a cabo por los operadores se provocan deteniendo las bombas de T1 y T4, que disparan este tipo de parada, porque es la más segura. También se incluye la parada de tipo 3 en este grupo (paradas provocadas por la presión anómala del reactor: alta, baja o gran variación).

#### 5.3.1. Bombas de alimentación

Las bombas de alimentación se pueden clasificar en dos grandes grupos: las que alimentan etileno catalizador disuelto al reactor; y las que son corrientes que contienen únicamente el catalizador que inyecta directamente al reactor, situadas en diferentes zonas del reactor.

Las bombas de la primera zona mencionada fueron renovadas, de modo que ahora están duplicadas bajo el nombre de nuevas (N), que son las usadas en operación y parada, y las antiguas, que se han mantenido como bombas de repuesto y han sido históricamente usadas en los arranques<sup>13</sup>, ya que éstas soportan mejor las grandes y rápidas variaciones de presión a las que deben someterse durante un proceso de puesta en marcha.

Las bombas exclusivas de catalizador son usadas siempre, tanto en operación como en arranques y paradas. Estas bombas cuentan con una bomba de reserva (con capacidad nominal para sustituir solo una de ellas) para situaciones de reparación, mantenimiento... Esta bomba de reserva es la única que dispone de alarmas de alta y baja temperatura.

Es importante que las tendencias de la temperatura se midan dentro del propio reactor, teniendo en cuenta que la reacción es altamente exotérmica y que la señal de temperatura previa a la entrada al equipo es insuficiente para el diagnóstico del estado del reactor y la salvaguarda en caso de anomalía. Por eso, las bombas solo requieren de las alarmas de marcha y paro.

Las bombas de alimentación al reactor se detienen con el programa de parada de la planta y dada la criticidad del estado del reactor en una parada, es el equipo más monitoreado por los operadores de panel, de modo que la comprobación -en caso necesario- de que las bombas están paradas es fácilmente visible en el panel de control.

---

<sup>13</sup> El programa automático de arranque permite la selección en manual de qué bombas usar durante la puesta en marcha de la planta.

Eso reduce de forma notable la necesidad de ninguna alarma que avise de la detención de una bomba cuando la planta está parando, así que se propone la inclusión en la dinámica general de todas las alarmas asociadas al paro y a la baja temperatura de las bombas de alimentación.

Tabla 5.15. Propuesta de dinámica: bombas de alimentación al reactor.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
M_P87B	BOMBA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
M_P87A	BOMBA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
M_P87G	BOMBA (N)	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
M_P87H	BOMBA (N)	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
M_P87D	BOMBA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
M_P87C	BOMBA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
M_P87F	BOMBA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TIC_RVA	TIC BMB	PVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
	RESERVA	PVLL				
		DEVLO				
TIC_RVA	TIC BMB	PVHI	HIGH	PR:LOW	REV	DIN
	RESERVA	DEVHI	EMRGNCY			
M_P87E	BMB RVA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
A615	BMB RVA	OFFNRM	HIGH	DIN	REV	NA
	SIST.HIDR.					

En alguna ocasión se han provocado alarmas por alta temperatura en la bomba de reserva durante la parada, estos casos puntuales son propuestos para una revisión de sucesos y valores tarados, sin ser incluidas en la dinámica.

### 5.3.2. Agitador

Cuando la planta para, el monómero y catalizador restante dentro deben terminar de reaccionar para poder vaciar el equipo de forma segura. Eso significa que el agitador puede estar en marcha durante un lapso posterior a un primer defecto.

En primera instancia, se estudia descartar el agitador de cualquier dinámica, porque sus alarmas no pueden ser silenciadas con un primer defecto si éste sigue en marcha, y hacer una dinámica propia no es práctico para silenciar las únicas dos alarmas candidatas (las dos indicando el paro). Se considera bajar su prioridad jerárquica.

El departamento de producción, por otro lado, considera que silenciar las alarmas de marcha y paro del agitador cuando ha disparado un primer defecto no suponen ningún peligro, porque el agitador eventualmente parará por la secuencia del programa automático y su paro es monitoreado en tiempo real por los panelistas cuando la planta está parando, de forma que estas dos alarmas se vuelven únicamente informativas.

Tabla 5.16. Propuesta de dinámica: agitador del reactor.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
A529	MOT PARO	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN
M_P204	MARCHA	OFFNRM	EMRGNCY	NA	REV	DIN

Las alarmas de alta intensidad tampoco se pueden incluir porque son necesarias para un diagnóstico de mal funcionamiento del agitador y un posible sobrecalentamiento, pero se proponen para el estudio y diagnóstico de qué problemática las ha llevado a disparar cuando la planta se encontraba en una orden de paro. También queda fuera de la dinámica la alarma la alarma de fallo a tierra por su elevada peligrosidad y su condición de primer defecto de paro de planta.

Tabla 5.17. Propuesta de dinámica: alta intensidades y fallo a tierra del agitador del reactor.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
A530	FALLO A TIERRA	OFFNRM	EMRGNCY	NA	APR	NA
IAH204A	INTENS.	OFFNRM	EMRGNCY	REV	APR	REV
IAH204S	INTENS.	OFFNRM	EMRGNCY	REV	APR	REV
IAH204T	INTENS.	OFFNRM	EMRGNCY	REV	APR	REV
MIN204A	INTENS.	OFFNRM	EMRGNCY	REV	APR	REV

### 5.3.3. Presión

La presión del reactor, junto con la temperatura, es la variable más vigilada del proceso, siendo una condición esencial para una reacción segura y con una buena conversión. La reacción tiene lugar a presiones y temperaturas tan altas que, como capa de protección, el reactor está ubicado dentro de un búnker (aparte de disponer de todos los enclavamientos y paradas de emergencia que disparan por la variación de presión, los discos de rotura etc.).

Ahora bien, en una parada el reactor se vacía una vez consumido todo el catalizador por el cierre de las bombas de alimentación. Entre el vaciado y la bajada drástica de temperatura, la presión también sufre una desviación muy repentina, por lo que muchas alarmas de parada de planta en consecuencia disparan innecesariamente después de un primer defecto (exceptuando los casos en los que la parada es provocada por la anomalía de la presión, caso que cuenta con su propia alarma de primer defecto). Por este motivo se propone incluir solo las alarmas de bajo valor dentro de la dinámica principal.

Tabla 5.18. Propuesta de dinámica: presión del reactor.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
PIC520	P REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
		PVLL	LOW			
		DEVLO	EMRGNCY			
OPAL520	BAJA OP	OFFNRM	HIGH	DIN	APR	DIN
PI520	P REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
		PVLL	HIGH			
PI520B	P REACT	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN
PI521	P REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
		PVLL				
PI521B	P REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
PAL520B	P REACT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL520R	P REACT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL521B	P REACT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL521R	P REACT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN

En algunos casos históricos se localizan valores de alta presión en paradas. Estos valores altos se asocian a una probable fluctuación en los últimos instantes de reacción (p.ej. por una mala agitación) o por picos puntuales durante el vaciado. Se proponen al departamento de producción para su estudio y diagnóstico, descartando cambiar los valores tarados como altos por su elevada relevancia dentro de posibles eventos adversos o incidentes.

#### 5.3.4. Temperatura

Las temperaturas de transmisores y controladores que se encuentran en las corrientes con catalizador son variables críticas para la operación, activando los enclavamientos de paro de la planta en caso de anomalía (por pérdida de reacción o alta temperatura).

Tabla 5.19. Propuesta de dinámica: temperaturas zona catálisis del reactor<sup>14</sup>.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
TC364A	T REACT (N)	PVLO DEVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TIC364	T REACT	DEVLO PVLO PVLL	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TX364	T REACT	PVLO DEVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TI364_2	T REACT	PVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TI364_2	T REACT	PVHI	EMRGNCY	REV	APR	REV/NA
T364	T REACT	PVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TAL364_2	T REACT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TC356A	T REACT (N)	DEVLO PVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TC356A	T REACT (N)	DEVHI	EMRGNCY	REV	APR	REV/NA
TIC356	T REACT	DEVLO PVLO PVLL	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TI356_2	T REACT	PVLO DEVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TI356_2	T REACT	PVHI	EMRGNCY	REV	APR	REV/NA
T356	T REACT	PVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TAL356_2	T REACT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN

Hay varias señales y alarmas asociadas a estas temperaturas (algunas de indicación, otras de control, y otras pertenecientes a las corrientes de las bombas principales y de reserva). Ya que la parada no puede ser interrumpida, cualquier señal de baja temperatura que tiene lugar después de un primer defecto, se vuelve informativa y típica, así que todas las alarmas asociadas a valores o desviaciones bajos se proponen para su supresión.

<sup>14</sup> La (N) de la descripción de algunas temperaturas representa una distinción entre corrientes alimentadas con las bombas principales o de reserva.

En cuanto al fondo del reactor, las alarmas correspondientes a las zonas 10 y 11 también se proponen para la dinámica (ya que su función más crítica es la detección de desviaciones bruscas y éstas forman parte de la secuencia normal de la parada y el vaciado del reactor).

El resto de señales de temperatura del reactor tienen las alarmas programadas con prioridad baja en operación normal al no ser consideradas críticas por las causas y tiempos de respuesta que figuran en la matriz de paros.

Otro factor a destacar es la gran vigilancia y monitoreo del reactor por parte de los panelistas tanto en paradas como en arranques por ser un elemento clave para una operación correcta, así que el perfil bajo de temperaturas no supone ningún peligro en este caso.

Tabla 5.20. Propuesta de dinámica: temperaturas del reactor.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
T515	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T516	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T352	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T517	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T313	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TIC309	T REACT	DEVLO PVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
T309	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T518	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TIC305	T REACT	DEVLO PVLO	EMRGNCY LOW	DIN	APR	DIN
T305	T REACT	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
TIC365	T REACT	DEVLO PVLO	HIGH LOW	DIN	APR	DIN
T366	T FONDO	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN

En algunos de los casos históricos también se han presenciado alarmas de alta temperatura y alta presión, que probablemente fueron provocadas por fluctuaciones durante el vaciado del reactor. Sus disparos no son muy comunes y las alarmas asociadas son altamente necesarias en cualquiera de los estados en los que se encuentre la planta. Se derivan a un estudio de incidentes para comprobar si se trata de fluctuaciones o de un problema (surgido durante la parada, de la calibración de los instrumentos, la selección del valor de tarado...).

Por otro lado, las resistencias que precalientan el reactor son puestas en marcha solo antes del arranque, pero estas tardan entre 5 y 6 horas en alcanzar el SP de temperatura. Por este motivo, a veces las resistencias son puestas en marcha durante la parada para mantener la temperatura del reactor (cuando se sabe que la causa de la parada no supone ningún peligro ni necesidad de reparación y se tiene intención de arrancar justo a continuación).

Esto provoca que en ciertas situaciones estas alarmas típicas de una puesta en marcha se solapen durante la parada. Ya que su puesta en marcha es manual y siempre controlada por los operadores, dichas alarmas son necesarias para detectar fallos en el calentamiento del reactor y no pueden ser silenciadas con el primer defecto. Este grupo de alarmas tiene su propia activación dinámica de las alarmas con la marcha de resistencias y soplantes, que queda fuera de alcance.

### 5.3.5. Altas desviaciones

Las alarmas de desviaciones repentinas en el reactor son críticas para la operación correcta de la planta, dado que si son corregidas a tiempo se pueden evitar paradas de emergencia de la planta tanto por alta temperatura como por pérdida de reacción.

En los momentos más sensibles y sujetos a cambios bruscos, como los arranques y paros, estas alarmas son comunes y suelen disparar por fluctuaciones más que por un síntoma real de aumento de temperatura o presión posteriores. Se propone su inclusión en la dinámica principal y se fija su rearme cuando la presión del reactor alcance el SP seguro (a diferencia de las de baja desviación, que se van a rearmar con la marcha de las bombas de catalizador porque son necesarias para evitar un aborto o interrupción del arranque por pérdida de reacción).

Tabla 5.21. Propuesta de dinámica: temperaturas del reactor.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
PIC520	P REACT	DEVHI	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
TIC364	T REACT	DEVHI	LOW	DIN	APR	DIN
TIC356	T REACT	DEVHI	LOW	DIN	APR	DIN

#### 5.4. Extrusión

El extrusor principal produce los pellets de PEBD. Algunos grados producidos en este extrusor pasan directamente a los silos y se convierten en producto final, mientras otros reciben los aditivos de concentrado de un extrusor *Masterbatch* (M/B) que alimenta el silo de extrusión principal, en donde se recuperan algunas propiedades perdidas durante la primera extrusión, o se le añaden otras nuevas mediante un concentrado.

El M/B y la tolva de alimentación son ligeramente diferentes entre unidades debido a los diferentes grados que producen. Estas diferencias son en la dosificación de los aditivos y los husillos que los procesan dentro del extrusor. Dependiendo del grado, se produce en una u otra unidad y se dosifica de diferentes modos. La dinámica del M/B se realizó de manera independiente como parte de la formación (A.9)

La cortadora del extrusor funciona como un equipo aparte aunque se encuentra inmediatamente después del extrusor, con sus propias órdenes de arranque y parada, y es uno de los equipos con más alarmas de parada de emergencia asociadas (del propio equipo, no de la planta) dada la peligrosidad de la zona de cuchillas para los operadores.

Ambos equipos pueden funcionar por su propia cuenta, independientemente del estado de operación o parada de la planta. En el proceso de arranque, la cortadora siempre es puesta en marcha antes que el extrusor, así que la inclusión de estos equipos en la dinámica de parada principal queda descartada por su marcha independiente a la de la planta.

La solución propuesta es la creación de dos dinámicas nuevas e independientes, una para el extrusor y otra para la cortadora, cada una con sus propias condiciones de supresión y rearme en función de la marcha –o no- del equipo.

##### 5.4.1. Extrusor principal

La mayoría de causas de paro del extrusor son a raíz de alguna condición problemática en la cortadora (exceptuando 3 casos: la baja velocidad del motor del extrusor, la alta presión en su filtro y el bajo nivel del silo previo a la extrusión).

De entre las alarmas que disparan típicamente con el paro del extrusor se diferencian dos grupos: las anomalías en el presecador o secador, y las alarmas de baja velocidad o paro. La primera alarma que se suele manifestar ante el paro del equipo (A767) es la propuesta como desencadenante de su dinámica, y su marcha como condición de rearme de alarmas. Las bajas velocidades y alarmas posteriores –o temporizadas- de paro se aceptan para su inclusión en la dinámica.

El presecador y secador se detienen siempre con el propio extrusor, y sus alarmas tanto de manipulación (p.ej. la apertura de la tapa del secador o del presecador) como las de condiciones *off-normal* (p.ej. el ventilador del secador parado) no suponen ningún peligro una vez ha parado el extrusor (ni para el equipo ni para los operadores que lo manipulen en parada).

En cuanto al arranque, el departamento de producción y los panelistas informan de la presencia de alarmas innecesarias durante los primeros minutos de arranque, mientras se estabilizan los SP. Para reducir esas alarmas se propone añadir una segunda condición de arranque, aparte de la marcha del extrusor: la velocidad mínima de rotación del motor.

Se discute el valor de dicha velocidad con el departamento de producción y se concluye que la velocidad segura máxima a la que el extrusor puede operar sin alarmas es la fijada como baja (PVLO) en la tara de alarmas. Una vez esta velocidad se ha superado, el equipo se considera operativo y se estabiliza lejos de las condiciones anómalas, por lo tanto, se puede proceder a rearmar las alarmas.

Tabla 5.22. Propuesta de dinámica: alarmas asociadas al paro del extrusor principal.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
A767	MARCHA	OFFNRM	EMRGNCY	TR/DIN-5	APR	TR/DIN-5
SIC750	VEL MOTOR	PVLO PVLL	HIGH EMRGNCY	TR/DIN-5	APR	DIN-5
SL750R	VEL MOTOR	OFFNRM	LOW	DIN-5	APR	DIN-5
SAL750	VEL MOTOR	OFFNRM	LOW	DIN-5	APR	DIN-5
SE062	PARO BAJA VEL MOT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-5	APR	DIN-5
A774	M_P VENT SECADOR	OFFNRM	HIGH	DIN-5	APR	DIN-5
XA043	TAPA ABIE PRESEC	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-5	APR	DIN-5
XN763	TAPA SEC ABIERTA	OFFNRM	HIGH	DIN-5	APR	DIN-5
SE056	PARO TAPA SEC ABIER	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-5	APR	DIN-5
XA205	MARCHA SECADOR	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-5	APR	DIN-5
SE061	PARO BAJO NIV SILO	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-5	APR	DIN-5
SE060	PARO ALTA PRES FILT	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-5	APR	DIN-5

Las siguientes 3 alarmas propuestas inicialmente quedan rechazadas y fuera de la dinámica por petición del departamento de producción:

La primera, la baja temperatura de la primera zona del extrusor, que en primera instancia no parece necesaria en una parada, lo es para el calentamiento del extrusor principal, que puede tener lugar tanto antes del arranque como en planta parada (bien sea por pruebas, por limpieza de restos solidificados en el interior del extrusor...). Esta alarma es una indicadora imprescindible para localizar cualquier fallo durante el proceso de calentamiento y para tomar las medidas de reparación necesarias.

La alarma de bajo caudal de aceite a los cojinetes del extrusor tampoco se puede incluir en la dinámica porque es una condición obligatoria para el arranque: si se detecta un problema con el aceite, el extrusor no se puede poner en marcha. Así que es una señal indispensable en el panel de control para poder diagnosticar un problema de lubricación del equipo y tomar acción antes de arrancar.

En último lugar, la baja presión del agua de tratamiento es una alarma común para servicios que informa de una irregularidad en la presión de suministro de agua, cuya información es general para varios equipos. Al no ser una alarma exclusiva del extrusor y no formar parte de la secuencia, no se incluye en la dinámica.

Tabla 5.23. Propuesta de dinámica: alarmas descartadas de la dinámica del extrusor principal.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
LTA707	TEMP 1A ZONA E/P	OFFNRM	LOW	DIN-5	REV	NA
FN739	CAUD ACE COJINETES	OFFNRM	HIGH	DIN-5	REV	NA
LPA802	AGUA TRAT PROD	OFFNRM	HIGH	DIN-5	REV	NA

El silo de extrusión también se ve afectado por el bajo nivel cuando el extrusor para, así que este grupo también se incluye en la dinámica. Por otro lado, la baja presión es descartada de la dinámica por petición del departamento de producción, que considera su alarma necesaria, ya que no forma parte de la secuencia normal de parada. El departamento se encarga de estudiar estos casos aislados de caída de presión.

Tabla 5.24. Propuesta de dinámica: alarmas asociadas al silo del extrusor principal.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
LIC704	CONTROL NIVEL SILO	PVLO	HIGH	DIN-5	APR	DIN-5
LSL705	BAJO NIVEL SILO	OFFNRM	HIGH	DIN-5	APR	DIN-5
LLA704R	BAJO NIVEL SILO	OFFNRM	LOW	DIN-5	APR	DIN-5
PIC701	PRESION SILO	PVLO	HIGH	DIN-5	REV	NA

### 5.4.2. Cortadora

La cortadora tiene un motor y orden de marcha y paro totalmente independientes del extrusor principal, y, de hecho, suele arrancar antes que el extrusor.

Los enclavamientos de la cortadora se clasifican en dos grupos: los temporizados y los no-temporizados. Los enclavamientos temporizados son 3 (la baja velocidad de la cortadora, el enclavamiento por la mala posición de las cuchillas y el bajo caudal de agua de corte) y su secuencia ante caso de disparo es el paro momentáneo del extrusor y el paro temporizado en 2 minutos de la cortadora. Las demás paradas son no-temporizadas.

Estos dos enclavamientos son las primeras señales que desencadenan el paro que suelen aparecer en las secuencias de parada de cortadora (aunque eventualmente la alarma de paro no-temporizado va a disparar en el 100% de los casos), así que se proponen las dos señales de enclavamiento como *triggers*, y la votación que van a seguir es de 1/2 de modo que la primera y/o única que dispare va a activar la dinámica.

Para su rearme se repite la problemática de las alarmas innecesarias durante el arranque, y también se añade una velocidad mínima. En el caso de la cortadora, al tratarse de un equipo con más peligrosidad para los operadores, se fija como valor de rearme la MUY baja velocidad (PVLL).

Así pues, la condición de rearme es triple en este caso: los dos enclavamientos deben haber retornado (al encontrarse ambos en el nodo de seguridad, si uno de los dos estuviera activo no podría ponerse en marcha el equipo) y la velocidad debe superar la mínima fijada (confirmando de esta forma que el equipo está en marcha y que está en unas condiciones de operación por encima de las mínimas, por lo que no deberían disparar alarmas de bajo valor).

Tabla 5.25. Propuesta de dinámica: desencadenantes de paro y rearme de la cortadora.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
XS772T	ENCL NO-TEMP	OFFNRM	HIGH	TR/DIN-6	APR	TR/ DIN-6
XS772P	ENCL TEMPOR	OFFNRM	HIGH	TR/DIN-6	APR	TR/ DIN-6
SIC727	BAJA VEL	PVLL	EMRGNCY	TR/DIN-6	APR	TR/ DIN-6

La mayoría de alarmas asociadas a la cortadora son señales digitales que indican situaciones *off-normal* como la posición anormal de las cuchillas o la mirilla abierta. Estas situaciones disparan enclavamientos tanto de la cortadora como del extrusor principal por problemas en la cortadora. Teniendo en cuenta que maniobras como el cambio de cuchillas o la apertura de la mirilla se hacen con la cortadora parada, sus alarmas son innecesarias en este contexto, ya que no suponen un peligro y la manipulación de la cortadora en paro siempre es monitoreada por un operador.

Las principales alarmas de bajo valor que tienen lugar con el paro de la cortadora son la baja velocidad y el bajo caudal de agua de corte, ambas formando parte de la secuencia de paro. Todas las alarmas cuyas señales indican una baja velocidad o un bajo caudal (y también las alarmas de paro por estos motivos) son aceptadas para la inclusión en la dinámica.

Todas las demás alarmas que indican paro también son propuestas, ya que su finalidad una vez ha parado la cortadora es solo de diagnóstico y pueden ser consultadas sin tenerlas activas creando avalanchas y reduciendo la atención del operador.

Como en el caso del compresor primario (5.1.1.), el departamento de producción considera que es necesario usar la herramienta *suppress all pre-existing alarms* (configurada a 1 segundo) que ofrece el DAS de *Experion* para suprimir únicamente el último segundo de alarmas disparadas, con la finalidad de no suprimir ninguna de las alarmas previas del sumario para poder diagnosticar el motivo de paro y monitorear los últimos minutos antes del paro, mientras se termina de procesar el polímero restante para evitar solidificaciones.

Tabla 5.26. (I) Propuesta de dinámica: alarmas asociadas al paro de la cortadora.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
A770	PARO NORMAL	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
XA200	MARCHA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE075	PARO TEMP MOTOR	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
A223	ENCLAV. ANULAD.	OFFNRM	LOW	DIN-6	APR	DIN-6
SIC727	BAJA VEL	PVLO	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
SAL727	BAJA VEL	OFFNRM	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
BLS727	BY-P BAJA VEL.	OFFNRM	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
SE070A	PARO E/P BAJA VEL	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE070B	PARO TEMP E/P BAJA V	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
A765	PARO POS CUCHILLA	OFFNRM	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
A765T	A765 TEMPORIZ	OFFNRM	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
SE071A	PARO POS CUCH	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE071B	PARO POS CUCH TMP	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
XA700	POSICION LLAVES	OFFNRM	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
SE074	PARO POSI LLAVES	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
XNA771	MIRILLA ABIERTA	OFFNRM	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
SE073	PARO MIR ABIERTA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
PAL720	TUBERIA AGUA DE CORTE	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6

Continúa

Tabla 5.26. (II) Propuesta de dinámica: alarmas asociadas al paro de la cortadora.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
FI728	AGUA CIRCUITO DE CORTE	PVLO PVLL	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
FI800	CAU AGUA CORTE	PVLO	LOW	DIN-6	APR	DIN-6
LF800	AGUA CIRC CORTE	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
ELF800	AGUA CIRC CORTE	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
TAL736	BAJA T AGUA	OFFNRM	HIGH	DIN-6	APR	DIN-6
SE077	PARO BAJA PRES AGUA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE076	PARO PRES AGUA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE079	BAJO CAUD AGUA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE072A	PARO CAU AGUA	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE072B	PARO CAU AGUA TMP	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6
SE078	PARO ENTR CAUDAL	OFFNRM	EMRGNCY	DIN-6	APR	DIN-6

### 5.5. Separador

El separador es el equipo que se encarga principalmente de separar las corrientes de recirculación de etileno no reaccionado y de alimentación al silo extrusor. Su variable de control principal es el nivel, que regula la alimentación a la tolva del extrusor principal (cuyo nivel a su vez controla la velocidad de rotación del extrusor). Su alto nivel desencadena una parada de emergencia de tipo 2.

En una parada, es un comportamiento normal que el nivel del separador baje por el vaciado del reactor por lo que no supone ningún peligro y su alarma puede ser silenciada con el disparo del primer defecto, ya que este nivel se monitorea desde el panel de control.

La presión también es clave para la operación de la planta, ya que tanto la alta, como la baja, como la gran variación de la presión provocan una parada de tipo 1. La baja presión del reactor durante una parada tiene como consecuencia la baja presión del separador, así que se propone la inclusión de las alarmas de baja presión del separador en la dinámica por ser una condición segura y típica en el proceso de parada.

El perfil de temperaturas del etileno en fase gas de salida sigue la misma línea que el de presiones, disminuyendo a consecuencia de las del reactor, así que también se incluyen.

Tabla 5.27. Propuesta de dinámica: separador.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
LIC619	NIVEL	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
LIC650	N FLASH DE ALTA	PVLO	HIGH	DIN	REV	NA
LIC101	N FLASH DE BAJA	PVLO	HIGH	DIN	REV	NA
PI617	PRESIÓN	PVLO	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
PAL617R	PRESIÓN	OFFNRM	EMRGNCY	DIN	APR	DIN
T616	SALIDA GAS	PVLO	LOW	DIN	APR	DIN
T511	SAL GAS S4 RGR	PVLO	HIGH	DIN	APR	DIN
T510	SAL GAS S3 RGR	PVHI	HIGH	DIN	APR	DIN

### 5.6. Arranque: recuperación de las alarmas de la dinámica principal

El grupo de alarmas de la dinámica principal es común con el paro de la planta: todas las alarmas del grupo pueden ser silenciadas de forma simultánea con el disparo de un primer defecto. Las diferencias llegan con la orden de arranque, cuando el *trigger* que desencadena las dinámicas no se puede usar para el rearme.

Debido a la secuencia de arranque, la reactivación de algunas alarmas se necesita antes que la de otras. Si todo el grupo fuera incluido en un mismo detonante de rearme, se podría seleccionar un detonante del inicio de la secuencia o bien del final, resultando en ambos casos en problemas de optimización o de seguridad.

Si se fija el rearme con el retorno del *trigger*, la dinámica se desactivaría muy pronto y el resto de alarmas que, por secuencia, tardan más en alcanzar su SP, dispararían en forma de avalancha y bajarían mucho el rendimiento de la dinámica. Por otro lado, si se fija el rearme en el final de la secuencia, todas las alarmas que son necesarias antes del detonante no se activarían cuando se necesitan, suponiendo un problema de seguridad.

Después de analizar la secuencia de arranque y la orden de marcha de cada equipo, se propone una lista inicial de tres sub-grupos de alarmas según su momento de rearme al departamento de producción. Finalmente, se fijan los cuatro sub-grupos descritos a continuación:

El primer sub-grupo incluye la marcha de todas las bombas de alimentación de catalizador y catalizador. A petición del departamento de producción, se añaden las temperaturas de control del reactor, cuyas alarmas dependen del caudal que se esté alimentando al reactor. También se añade el perfil de temperaturas de la corriente de salida gas del separador. Todas estas alarmas se van a reactivar con la marcha de la bomba principal de alimentación al reactor, que es la primera que se pone en marcha y la más crítica.

Siguiendo con el reactor, el segundo sub-grupo incluye todas las alarmas de presión y temperatura del equipo (excepto las de control incluidas en el primer sub-grupo), cuyo rearme tendrá lugar cuando se alcance la presión mínima del reactor. El departamento de producción considera necesario solo para este sub-grupo añadir otro detonante de rearme: la marcha del agitador o la señal de orden de arranque (cuya información es equivalente). De esta forma, se evita que se activen las alarmas del reactor en las pruebas de presión periódicas que se realizan con la planta parada.

La tercera condición de rearme es la más crítica (y la última de la secuencia de arranque): la apertura de las válvulas de alimentación de gas al reactor. Con su apertura se vuelven a activar todas las alarmas asociadas a: la marcha del agitador, el perfil de presiones del compresor secundario, las temperaturas de alimentación al reactor y el control de nivel y presión del separador. Estas variables son monitoreadas durante la secuencia de arranque y su silenciamiento no supone ningún peligro para la planta, siendo necesarias únicamente cuando la planta se considera operativa.

En último lugar, el departamento de producción rechaza la inclusión de las alarmas de las válvulas apertura y cierre del compresor secundario y marcha-paro con el resto de alarmas del equipo, en el sub-grupo 3. Estas alarmas son necesarias desde el momento de marcha del compresor secundario, así que se crea un subgrupo cuyo rearme tiene lugar con la marcha del equipo.

### 5.6.1. Alarmas de paro y primeros defectos

Las alarmas de primeros defectos fueron creadas recientemente (octubre de 2019), y sus señales son muy útiles para el diagnóstico de motivos de parada de la planta. A diferencia de las otras alarmas de paro de unidad, estas disparan una única vez indicando el motivo de paro (cuando ha disparado un primer defecto, ningún otro primer defecto lo hace), mientras que las otras alarmas de paro disparan en forma de avalancha a medida que los equipos van parando.

Esto provoca unas avalanchas de alarmas de paro de unidad innecesarias (entre 10 y 12 alarmas superpuestas cada vez que para una unidad), ya que la planta para una única vez y por un único motivo, y la superposición de estos disparos dificultaba la investigación posterior de la causa real, además de una redundancia innecesaria cuando se dispone de alarmas que sí disparan una sola vez y cuyas señales muestran una causa real de parada.

Para reducir el número de *Bad Actors* y facilitar el seguimiento/monitoreo de la situación al panelista, se propone eliminar de forma permanente todas las alarmas que indican un paro de la unidad y que no sean un primer defecto. Incluirlas en la dinámica solo supondría una carga innecesaria para el sistema, ya que estas alarmas disparan únicamente con la parada de la planta, y silenciarlas en este contexto tendría el mismo efecto que silenciarlas de forma permanente mientras se mantienen los primeros defectos.

Los nombres de las alarmas de paro de una unidad codifican el tipo de parada según una matriz de causa-efecto (indica la causa y la orden de paro que activa): las alarmas asociadas a paradas de tipo 1 acaban A1, A2, A3... las de tipo 2 en B1, B2, B3... y así sucesivamente. Las de primer defecto tienen estos mismos nombres terminados en “\_1D”.

Así pues, para silenciar los grupos de alarmas que no tienen una dinámica propia de paro del equipo, se propone que cualquier primer defecto sea el desencadenante de la dinámica principal. De este modo, todas las alarmas comunes en los diferentes tipos de parada van a ser silenciadas sin discriminar el motivo de dicha parada. Se aprueba que todos los primeros defectos funcionen de *triggers* de la dinámica general.

### 5.6.2. Interrupciones del arranque

El programa de arranque tiene ciertas maniobras de comprobación manuales, mandando mensajes de comprobación a los panelistas, que deben confirmar manualmente. En estos mensajes el operador debe confirmar que el arranque está avanzando con normalidad, y en caso de que no lo esté, debe **abortar** el arranque con una doble confirmación.

Si el operador aborta el arranque, la planta para y vuelve a un estado seguro siguiendo la señal de aborto, y su detección es fácil porque esta señal dispone de una alarma.

La limitación de esta señal llega con la apertura de las válvulas de alimentación al reactor, momento a partir del cual el operador no puede abortar de forma manual el arranque, dado que en ese punto la planta se encuentra en estado casi operativo y la detección de cualquier anomalía se hace de forma automática, generando una señal de primer defecto.

El aborto del arranque inicialmente se propone como condición de activación de dinámica, pero se descarta porque generalmente el rearme de las dinámicas tiene lugar en un momento avanzado de la puesta en marcha, de modo que, en caso de suceder un aborto, las dinámicas sigan activas.

Además, para configurarlo se debería crear una señal nueva en el programa de arranque, modificándolo (fuera de alcance), y es una inversión de tiempo que no se verá reflejada en los resultados, ya que difícilmente se reducirían las alarmas con esta condición extra, siendo suficientes las condiciones establecidas previamente.

Una vez se han abierto las válvulas del reactor, el programa de arranque comprueba 5 veces que funcionen correctamente y no marquen ningún fallo ni ningún cierre fuera de lo normal. Si se detecta alguna anomalía, se dispara una **interrupción** del arranque de forma automática. Esta interrupción tiene su propia secuencia para dejar la planta en estado seguro y no tiene ninguna alarma asociada.

Si se sufre una interrupción, la secuencia de arranque lleva de vuelta al paso de inicio, pero al encontrarse las válvulas de alimentación ya abiertas (y, por lo tanto, las alarmas rearmadas), la planta se considera ya operativa. Así pues, en caso de interrupción por alguna anomalía con estas válvulas, se activaría un primer defecto de paro, probablemente por pérdida de reacción.

Por este motivo no hace falta incluir la interrupción como *trigger* de la dinámica principal, ya que el primer defecto volvería a activar la dinámica de supresión y las alarmas del grupo de *targets* volverían a ser silenciadas hasta volver a cumplir las condiciones de rearme.

Tabla 5.28. Propuesta de dinámica: interrupciones del arranque como detonantes.

TAG	Descripción	Tipo	Prioridad	Propuesta inicial	Dpto. producción	Cambio final
ABOR_U2	ABORT SEC ARRANQUE	OFFNRM	LOW	TR/DIN	REV	NA
INTERR_UP_U2	INTER SEC ARRANQUE	OFFNRM	LOW	TR/DIN	REV	NA

### 5.7. Alarmas de explosividad y discos de rotura

Las alarmas de explosividad son de máxima prioridad, ya que su ausencia implicaría un peligro directo para las personas. Juegan un papel esencial en la detección de posibles fugas tóxicas o atmosfera explosiva, y son clave para la activación de los protocolos de protección de la población. Aun con la planta parada éstas no se pueden silenciar, ni mucho menos en un estado de las unidades tan delicado como el arranque o la parada.

Estas señales están distribuidas por toda la planta, pero abundan más en el reactor: equipo clave que se debe mantener aislado de un ambiente explosivo teniendo en cuenta el carácter altamente exotérmico de la reacción, junto con la toxicidad y peligro de propagación atmosférica y explosión del etileno en fase gas a alta presión. Los medidores están distribuidos en las siguientes zonas: plataforma superior, agitador, pared, pasillo, válvulas de alimentación y norte, sur, este, oeste. Cada una de estas señales tiene una alarma de alta y de muy alta explosividad.

Los enclavamientos que dispararían en caso de explosividad pararían la planta y activarían las siguientes PCI (protección contra incendios): la apertura de paso de vapor de sofocación, la ducha de vapor de sofocación en el bunker del reactor, y duchas de sofocación en la zona del separador.

Las propias señales de explosividad también se usan para el diagnóstico de posibles roturas de disco (suceso que no tiene alarmas como tal), con medidores alrededor de todos ellos. La consecuencia directa de la rotura de un disco es la salida a la atmosfera de gases tóxicos, por este motivo el seguimiento y diagnóstico se hacen con alarmas de explosividad, exceptuando un caso: la primera sección del compresor secundario.

Una de las paradas de emergencia de la planta (provocada por el disco de rotura de la primera etapa del compresor secundario) se diagnostica con una señal de muy baja presión en la aspiración, cuya alarma se incluye en la dinámica del compresor secundario, ya que se trata de un comportamiento normal cuando el equipo está parado.

Así pues, no se cuenta con señales ni alarmas directamente asociadas a los discos de rotura porque se dispone de detectores de explosividad alrededor de todos ellos. Estos detectores no dan la información directa de la rotura de un disco, ya que su disparo se podría dar tanto a la rotura del disco como a una fuga (o un fallo de instrumentación) y por eso son muy útiles para el diagnóstico y sobretodo, para la protección civil.

5.8. Resumen de las dinámicas

El recuento final de alarmas silenciadas por dinámicas después del análisis exhaustivo y la clasificación de detonantes y condiciones de rearme es el siguiente:

Tabla 5.29. Resumen de las dinámicas configuradas.

Dinámica	Trigger(s)	Rearme	Nº targets
<b>DIN:</b> Dinámica principal de la parada de la planta	(1D) cualquier primer defecto	<b>Común:</b> 1D inactivo <b>Grupo 1:</b> Marcha bombas de catálisis <b>Grupo 2:</b> P.min reactor y marcha agit. <b>Grupo 3:</b> Abren valv. aliment. reactor <b>Grupo 4:</b> Marcha del C/Sec	<b>Total:</b> 121 <b>G-1:</b> 30 <b>G-2:</b> 38 <b>G-3:</b> 38 <b>G-4:</b> 15
<b>DIN-1:</b> Dinámica de formación: extr. M/B	Paro del motor	Marcha del motor y velocidad min.	15
<b>DIN-2:</b> Dinámica del C/Prim y C/Aux	Paro del motor	Marcha del motor y presión mínima	33
<b>DIN-3:</b> Dinámica de sistema lubricación C/Prim	Paro motor y timer 2 min	Marcha bombas de lubricación	3
<b>DIN-4:</b> Dinámica de sistema lubricación C/Sec	Paro motor y timer 2 min	Marcha bombas de lubricación	4
<b>DIN-5:</b> Dinámica del E/P	Paro del motor	Marcha del motor y velocidad mínima	11
<b>DIN-6:</b> Dinámica de la cortadora del E/P	Paro del motor temporizado o normal	Marcha del motor y velocidad mínima	28

## 6. OTROS TRATAMIENTOS DE ALARMAS

### 6.1. Diagnóstico de *Bad Actors* y propuestas de mejora

Fuera del alcance del proyecto, como parte de la formación y estancia en la empresa, se programan reuniones semanales de tratamiento de *Bad Actors* con los departamentos de control, de producción y de procesos. En dichas reuniones se revisan las 10 alarmas con más impacto sobre el total semanal y se proponen medidas de mitigación.

Las alarmas que más abundan son intermitencias por causas aclaradas por el dpto. de producción, como instrumentos mal calibrados o equipos estropeados a la espera de mantenimiento. Estas alarmas suelen atajarse o bien con un *shelving* si se conoce la fecha exacta de reparación y es a corto plazo, o bien con una inhibición si la previsión de reparación es a largo plazo, ambas con una justificación y gestión asociadas para que quede un debido registro.

A la hora de escoger entre estas dos soluciones se asegura sobretodo la buena gestión, ya que la alarma en estado de *shelving* se recupera sola una vez agotado el tiempo fijado, y la inhibición debe ser reactivada manualmente por el panelista o técnico de producción una vez su funcionamiento es normal.

Aun así, siguen manifestándose alarmas intermitentes y molestas de señales que funcionan de forma normal. En estos casos el departamento de optimización y control se hace cargo de estudiar las opciones para su disminución.

Lo primero es la comprobación de que los valores de disparo de alarma son los correctos, observando las tendencias de la variable problemática y sus posibles fluctuaciones cerca de los valores de disparo. Si se detecta que los valores de operación son demasiado cercanos a los de disparo, se propone al departamento de procesos cambiar los tarados de las alarmas.

Si esa opción no es aprobada, el departamento de control procede a estudiar la implementación de alguna de las funciones mostradas en el apartado 3.4.3. Si la alarma no dispone de una banda muerta o la tiene mal configurada, se le asigna la fijada por filosofía si el departamento de producción lo aprueba.

También se simula el % de reducción de alarmas en función del *on-delay* y *off-delay* para establecer un valor óptimo, que elimine un porcentaje de alarmas molestas considerable pero cuyo *delay time* no sea excesivo y no suponga problemas de seguridad, también decidido de forma interdepartamental.

Con estos tratamientos de *Bad Actors* se observa una reducción considerable de los valores de disparo semanales y mensuales, siendo cada vez menos los disparos de las 10 alarmas más molestas.

En la siguiente tabla se puede observar el efecto que tiene un tratamiento de *Bad Actors* periódico y eficaz. Por un lado, el número mensual de disparos disminuye y por otro, las intermitencias en alarmas acaparan cada mes menos volumen respecto el total, siendo la mayoría de veces ocasionadas por fallos de instrumentación.

La disminución general de intermitencias en las alarmas que más presencia tienen se debe también al tratamiento cada vez más correcto por parte de los operadores: inhibiendo o haciendo *shelving* de las alarmas cuyo problema está localizado y justificado por el panelista.

Tabla 6.1. Contribución de alarmas mensuales más frecuentes al total después de medio año de tratamiento de *Bad Actors*.

Top	Agosto 2020			Febrero 2021		
	Alarma	Eventos	Contribución	Alarma	Eventos	Contribución
1	Fallo de instrumento	1776	9,6 %	Intermitencias de operación	508	4,8 %
2	Fallo de señal	907	4,9 %	Diferencias de producción	439	4,1 %
3	Fallo de instrumento	904	4,9 %	Fallo de equipo	288	2,7 %
4	Intermitencias de operación	622	3,3 %	Diferencias de producción	228	2,2 %
5	Diferencias de receta	485	2,6 %	SP alto de operación	141	1,3 %
6	SP alto de operación	457	2,5 %	SP bajo de operación	115	1,1 %
7	Diferencias de receta	331	1,8 %	Fallo de válvula	111	1,0 %
8	Intermitencias de operación	316	1,7 %	Reacción inestable	108	1,0 %
9	Fallo de equipo	315	1,7 %	Paro planta de compuestos	100	0,9 %
10	Bajo nivel agua de balsa	281	1,5 %	Fallo de instrumento	96	0,9 %
Σ	TOTAL MES	6394	34,5 %	TOTAL MES	2134	22,0 %

Como se puede observar, las intermitencias de febrero son mayoritariamente operativas (como un cambio en la producción u operación que necesitan de las alarmas, aunque provoquen intermitencias) gracias a la formación que han estado recibiendo los panelistas, que ahora aplican de forma directa tratamientos como el *shelving* y eso reduce mucho las alarmas molestas a largo plazo, como un fallo de instrumento que debe esperar a ser reparado.

Siguen apareciendo alarmas de fallos, pero probablemente no se hayan silenciado por necesidad de la alarma (como la de fallo de válvula, que es una alarma estrictamente necesaria y no se podría justificar su inhibición bajo ningún concepto).

Las alarmas mensuales también se ven reducidas en número y contribución al total, muestra del trabajo de gestión de alarmas innecesarias, duplicadas o molestas.

También forma parte de este tratamiento la gestión de alarmas permanentes, que al estar activas durante largos periodos de tiempo no son localizadas por los operadores y no son mitigadas (que por su parte también pueden suponer un peligro para la planta al no informar de posibles anomalías o fallos). También saturan el sumario de alarmas, complicando su localización posterior.

## 6.2. Discrepancias entre alarmas gemelas

Durante el análisis se localizan otras discrepancias no relacionadas con las dinámicas, la mayoría de veces relacionadas con diferencias de valores tarados o prioridades entre las unidades. La siguiente lista es comunicada al departamento de producción para su gestión mediante peticiones de cambio<sup>15</sup>.

Tabla 6.2. Discrepancias entre alarmas o señales fuera del alcance de las dinámicas.

Señales o alarmas	Discrepancia	Propuesta
Baja temperatura de desgasados C/Prim	U2 tiene alarma de PVLO y U1 no	Eliminar alarma de PVLO de U2
Marcha bombas de lubricación C/Prim	Discrepancia de prioridades entre unidades	Igualar la prioridad de la U2 a la de la U1 (LOW)
Temperatura impulsión etapa 1 C/Prim (alta/baja)	Discrepancia de prioridades entre unidades (alta y baja)	Igualar la prioridad de la U2 a la de la U1 (LOW)
Temperatura aspiración etapa 2 C/Prim	Discrepancia entre nombres (U1 tipo T y U2 tipo TI)	Igualar los nombres entre unidades (tipo TI)
Temperatura impulsión etapa 2 C/Prim	Discrepancia entre nombres (U1 tipo T y U2 tipo TI)	Igualar los nombres entre unidades (tipo TI)
Perfil de temperaturas del C/Aux (5 señales)	Discrepancia entre nombres (U1 tipo T y U2 tipo TI)	Igualar los nombres entre unidades (tipo TI)
Alarmas de presión del reactor duplicadas	U1 tiene señales duplicadas de presión del reactor y U2 no	Eliminar señales y alarmas duplicadas de la U1
Control de presión del reactor (baja)	Discrepancia de prioridades entre unidades	Igualar la prioridad de la U2 a la de la U1 (HIGH)
Temperatura reactor (TX)	U2 tiene duplicada y U1 no	Eliminar duplicada de U2
Velocidad motor extrusor	U2 tiene alarma PVLL y U1 no	Eliminar PVLL de la U2
Baja velocidad motor del extrusor	U2 tiene alarma y U1 no	Eliminar alarma de la U2
Paro de la cortadora temporizado	U1 tiene alarma y U2 no	Eliminar alarma de U1
Parada normal cortadora	Discrepancia de prioridades entre unidades	Igualar la prioridad de la U2 a la de la U1 (HIGH)
Enclavamiento de la cortadora anulado	U1 tiene alarma y U2 no	Eliminar la alarma de la U1
Posición de las llaves de la cortadora	Discrepancia de prioridades entre unidades	Igualar la prioridad de la U2 a la de la U1 (LOW)
Agua circuito de corte	U1 tiene alarma PVLL y U2 no	Eliminar PVLL de la U1
Bajo caudal agua de corte	Discrepancia de prioridades entre unidades	Igualar la prioridad de la U2 a la de la U1 (LOW)
Paros de planta que no son primeros defectos	Algunas tienen prioridad y otras no	Pasar todas las alarmas a JOURNAL
Paros de planta que son primeros defectos	Algunas tienen prioridad y otras no	Asignar a todas la misma prioridad (EMERGENCY)

<sup>15</sup> Las discrepancias entre valores de disparo de alarmas no son incluidas en estas propuestas porque se deben a pequeñas diferencias de rangos de operación según los grados de PEBD que se producen en cada unidad.

## 7. IMPLEMENTACIÓN DE LAS DINÁMICAS

La configuración de alarmas dinámicas hasta el momento se ha llevado a cabo a través de archivos en lenguaje y formato .CL (propios de *Experion*) que eran copiados y compilados al sistema de control usando las estaciones de ingeniería (GUS, la estación nativa que se está migrando). Con la migración vigente a *Experion*, se procura usar todas las herramientas integradas que ofrece, incluyendo el DAS.

DAS (*Dynamic Alarm Suppression*) es una herramienta preconfigurada en el propio entorno *Experion*, especializada en las dinámicas de alarmas (ver 3.5.1). Esta aplicación no requiere programación ninguna (las dinámicas se crean de forma muy intuitiva, en listas de *triggers* y *targets*). Por otro lado, cuenta con una notable desventaja: la imposibilidad de incluir lógicas en su configuración. Esto dificulta sobre todo las dinámicas de más de una condición de rearme (como la presión mínima en el caso del compresor primario).

Para atajar esta limitación, se combina el uso de la programación clásica usada hasta el momento en la estación nativa: programas en AM para la creación de las lógicas y puntos desencadenantes de activación, y la supresión de alarmas con el DAS, donde se incluirán los grupos de alarmas a silenciar.

### 7.1. Programación en AM

Para la implementación de programas en la estación nativa (Ref.18), se usan archivos .CL con las instrucciones y secuencias cargadas en un nodo AM (en la LCN), que tiene acceso a todos los HPMs. (en la UCN), de modo que se pueden silenciar grupos con alarmas de diferentes nodos del sistema de control y disponer de más señales en un único programa. Otra ventaja de este método es la posibilidad de incluir lógicas para la activación o desactivación de *triggers* con unas condiciones que el DAS no permite cuando se configuran dinámicas de alarmas.

Para cargar un programa al sistema de control se necesita la creación de un punto que lo va a almacenar y a procesar, ubicado en el *Application Module*. Al encontrarse en AM estos archivos, cada programa se tiene que duplicar en el momento de su configuración: ya que este nodo no es redundante y, por lo tanto, para tener una robustez que asegure el funcionamiento en caso de fallo del AM, se crea un programa idéntico en otro AM (redundancia virtual). Esto supone una carga para el sistema, por el acceso constante a diferentes nodos cada vez que se ejecuta, pero el uso combinado con el DAS permite que el programa del AM no tenga que acceder a las alarmas para su supresión, sino que a un solo accede a las condiciones y al *trigger*.

Otra desventaja de este tipo de programas es que para realizar cualquier cambio (como añadir o eliminar una alarma del grupo a silenciar) requiere muchos más pasos de configuración: desenlazar los programas de sus respectivos puntos, editar el archivo .CL, volver a compilarlo y volver a enlazarlo al mismo punto.

Para la creación de los archivos de programas .CL se usa un lenguaje de programación con un lenguaje específico de lógicas simples. La siguiente figura muestra cómo sería un ejemplo de configuración en AM<sup>16</sup> si se silenciaran las alarmas directamente desde el programa.

---

<sup>16</sup> Todas las configuraciones se llevan a cabo para las dos unidades de la planta.

```

ejemplo AM: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
--*****
--* Fichero: ALDCMPR      Fecha: 24 NOV 20      Rv.:00      *
--* Aplicacion: [DINÁMICA DE ALARMAS PARO DE COMPRESOR TEMPORIZADO] *
--* Configuracion del punto al que va asociado: ALD_COMPRESOR *
--* Tipo: Custom *
--* AM: 01 *
--* ..... *
--*                               REVISION PROGRAMA *
--* Rev      Date      Editor      Description *
--* ----- *
--* 00      [24 NOV 20]  [SAT]      Descripcion *
--*****

BLOCK ALDCMPR (POINT ALD_COMPRESOR;AT GENERAL)

--*****Declaración de variables externas*****
--*****Trigger*****
EXTERNAL M_Pcomp      --MARCHA PARO DEL COMPRESOR
EXTERNAL M_Pcomp_TM  --TIMER M_P DEL COMPRESOR
--*****Condición de rearme*****
EXTERNAL PIC_comp    --PRESIÓN DEL COMPRESOR
--*****Alarmas dinamicas*****
EXTERNAL PIC0001     --IMPULSIÓN ETAPA 1A
EXTERNAL PIC0002     --IMPULSIÓN ETAPA 1B
EXTERNAL PIC0003     --IMPULSIÓN ETAPA 2A
EXTERNAL PIC0004     --IMPULSIÓN ESTAPA 2B

--*****Programa dinamicas*****
--Inicio del timer
IF (M_Pcomp.PVFL = OFF AND M_Pcomp_TM.STATE = STOPPED AND
& M_Pcomp_TM.PV = 0) THEN
& SET (M_Pcomp_TM.COMMAND = START)

--Alarmas a silenciar
IF (M_Pcomp.PVFL = OFF AND M_Pcomp_TM.RV = 0) THEN
SET (PIC0001.PVLOPR = JOURNAL;
& SET PIC0001.PVLOPR = JOURNAL;
& SET PIC0001.PVLOPR = JOURNAL;
& SET PIC0001.PVLOPR = JOURNAL)

--Reseteo del timer cuando el equipo se ponga en marcha
IF (M_Pcomp.PVFL = ON AND M_Pcomp_TM.PV>0) THEN
SET (M_Pcomp_TM.COMMAND = STOP;
SET M_Pcomp_TM.COMMAND = RESET)

--Rearme de las alarmas con el equipo en marcha y la presión mínima
IF (M_Pcomp.PVFL = ON AND PIC_comp.PV>100) THEN
SET (PIC0001.PVLOPR = HIGH;
& SET PIC0001.PVLOPR = HIGH;
& SET PIC0001.PVLOPR = HIGH;
& SET PIC0001.PVLOPR = HIGH)

END ALDCMPR

```

Figura 7.1. Ejemplo de una dinámica en un archivo .CL para programación en AM.

## 7.2. Configuración en DAS

El funcionamiento de DAS se basa en el silenciamiento de un grupo de alarmas con la activación de un desencadenante y la recuperación de éstas cuando el desencadenante ha retornado a su estado normal.

La reactivación de las alarmas con el retorno de un desencadenante de tipo marcha-paro no es práctico desde el punto de vista que intenta evitar avalanchas en momentos como el arranque: generalmente el equipo requiere tiempo para alcanzar las condiciones de operación normal desde el arranque, y una recuperación de las alarmas temprana (con la propia puesta en marcha del equipo) no aportaría mejoras en momentos de arranque, ya que se producirían alarmas después de arrancar el equipo pero sin haber alcanzado las condiciones de operación.

Para poner solución a este tipo de limitaciones, la configuración en DAS se combina con la configuración en AM, para disponer de una única señal que combine el estado de paro y de normalidad (que no necesariamente debe ser una condición de marcha inmediata).

El DAS tiene otro requisito de funcionamiento, y es que, al no poder implementar lógicas, el desencadenante debe ser una señal con una alarma asociada, y esta alarma debe estar en estado *off-normal* para activar la dinámica que lleva incorporada. Para saltar esta limitación, el punto del *trigger* se programa en la estación nativa, de forma que cuando el estado sea *off-normal*, la dinámica en DAS se ejecute.

En DAS, también se cuenta con la opción de configurar el tiempo de vuelta a estado seguro en caso de fallo de comunicación. Todas las dinámicas son configuradas con un periodo de 30 segundos, lo que significa que en caso de no detectar la señal del *trigger*, se pasa a un estado seguro de no-supresión de alarmas.

En la siguiente figura se muestran las propiedades de una dinámica configurada en DAS, entre las cuales se encuentra el *deactivation delay when trigger alarms become questionable*, tiempo de espera del programa ante un fallo antes de la activación de las alarmas por seguridad.

Name	Alarmas dinamicas PRIM U2 sin temporizar
Description	Gestion dinamica de las alarmas del C.Prim en funcion del paro
Enable suppression group	Yes
Enable first-up alarming	No
Only activate if all triggers are active	No
Suppress all pre-existing alarms	Yes
Pre-activation suppression period	0
Deactivation delay	0
Deactivation delay when trigger alarms become questionable	30
Approval status	Released

Figura 7.2. Propiedades de una dinámica configurada en DAS.

Otra herramienta de la que dispone DAS y que se puede observar en la figura anterior es la opción de *suppress all pre-existing alarms*, que consiste en la eliminación de las alarmas previas al disparo (siempre y cuando estén listadas como *target*) del sumario que aparece en la pantalla del panel de control. Esto facilita la lectura de las alarmas en tiempo real desde el panel, evitando que las alarmas del grupo a silenciar saturen la pantalla del sumario una vez la planta esté parada y no se puedan tomar acciones de mitigación, facilitando la atención en las alarmas que puedan ser realmente prioritarias (ya que en un mismo panel se controlan las dos unidades gemelas, el transporte neumático y la unidad de extrusión de compuestos).

Por otro lado, hay ciertos equipos que, a petición del departamento de producción, sí necesitan ver las alarmas pre-existentes de sus dinámicas. Como es el caso de la cortadora del extrusor principal (DIN-5), que se configura con un *Pre-activation suppression period* de un segundo, para poder seguir visualizando todos los disparos previos a la activación de la dinámica.

La dinámica del compresor primario también se configura con la opción de mantener las alarmas previas después de haber incluido las altas temperaturas de los cojinetes en el grupo.

### 7.3. Configuración combinada

Una vez localizada la forma óptima de implementación, aprovechando al máximo las ventajas de cada método, una dinámica combinada quedaría de la siguiente forma:

Se crea un punto en HPM que será un digital de “alarmas activas<sup>17</sup>” o “alarmas inactivas” (al tratarse de un punto en HPM, no requiere un redundante virtual porque el nodo es redundante de por sí). Ése será el *trigger* que usará DAS para la supresión de alarmas.

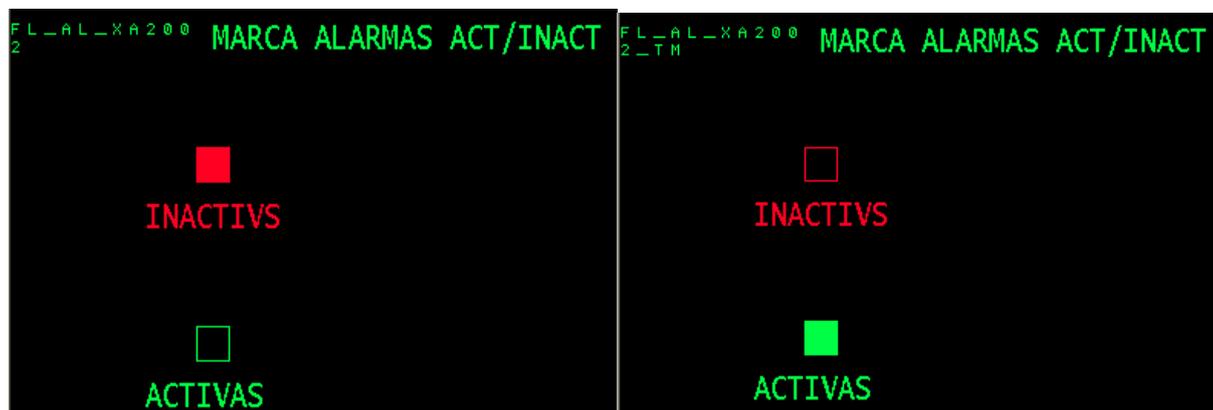


Figura 7.3. Señal usada como *trigger* de una dinámica en estado de supresión (izquierda) y no-supresión (derecha) de alarmas.

Luego, el programa en AM (y su redundante) es configurado dentro del punto que lo va a contener como explicado anteriormente, pero en vez de silenciar las alarmas dentro del propio programa, se activa el punto creado previamente en HPM (Ref.19). Eso supone programas más ligeros para el AM y de menos volumen y tiempo de carga, y también la ventaja de no tener que reconfigurar el programa para añadir o eliminar alarmas, ya que esa parte se llevará al DAS, aunque sí debería reconfigurarse en caso de realizar cambios sobre las condiciones del *trigger* o rearme.

<sup>17</sup> Entiéndase alarmas activas como alarmas no-suprimidas, no como alarmas disparadas.

```

ejemplo AM: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
-- *****
-- * Fichero: ALDCMPR      Fecha: 24 NOV 20      Rv.:00      *
-- * Aplicacion: [DINÁMICA DE ALARMAS PARO DE COMPRESOR TEMPORIZADO] *
-- * Configuracion del punto al que va asociado: ALD_COMPRESOR *
-- * Tipo: Custom *
-- * AM: 01 *
-- * ..... *
-- *                               REVISION PROGRAMA *
-- *   Rev      Date      Editor      Description *
-- *   ---      - - - - -  - - - - -  - - - - - *
-- *   00      [24 NOV 20]  [SAT]      Descripcion *
-- *****

BLOCK ALDCMPR (POINT ALD_COMPRESOR;AT GENERAL)

-- *****Declaración de variables externas*****
-- *****Trigger*****
EXTERNAL M_Pcomp      --MARCHA PARO DEL COMPRESOR

-- *****Condición de rearme*****
EXTERNAL PIC_comp      --PRESIÓN DEL COMPRESOR

-- *****Alarmas dinamicas*****
EXTERNAL FL_AL_COMP      --TRIGGER DINÁMICA DEL COMPRESOR

-- *****Programa dinamicas*****

--Activación de la señal digital usada como trigger
--Lógica inversa: señal en ON cuando equipo OFF

IF (M_Pcomp.PVFL = OFF) THEN
SET (FL_AL_COMP.PVFL = ON)

--Rearme de las alarmas con el equipo en marcha y la presión mínima
--Desactivación del trigger, de modo que se recuperan las alarmas

IF (M_Pcomp.PVFL = ON AND PIC_comp.PV>100) THEN
SET (FL_AL_COMP.PVFL = OFF)

END ALDCMPR

```

Figura 7.4. Programa en .CL activando el *trigger* en vez de silenciar las alarmas directamente.

Finalmente, con el *trigger* en funcionamiento, se añade la dinámica a DAS con el grupo de alarmas a silenciar y la señal digital que activa la dinámica se silencia a sí misma, ya que dicha señal es usada solo para la configuración, y no se necesita su aviso sonoro ni visual en el panel (y porque DAS permite la supresión del propio *trigger*).

Active Alarms				Triggers and Targets				Properties			
<b>Suppression triggers</b>				<b>Suppression targets</b>							
Point	Block	Condition		Point	Block	Condition					
FL_AL_█		OFFNORM		FL_AL_█		OFFNORM					
				PIC_█		PVLO					
				PIC_█		PVLL					
				PIC_█		PVLO					
				PIC_█		PVLL					
				PIC_█		PVLO					
				PIC_█		PVLL					
				PIC_█		PVLO					

Figura 7.5. Menú de visualización de *triggers* y *targets* en DAS.

La combinación de estos dos métodos se lleva a cabo de forma que se aprovechan las ventajas de ambos. Por un lado, el programa .CL contendrá toda la lógica de activación de una dinámica (programa que una vez creado no requerirá ninguna edición posterior a no ser que cambien las condiciones de silenciamiento o rearme), y por otra, el DAS tendrá una señal única y clara como *trigger*, que silenciará todas las alarmas añadidas de forma muy sencilla dentro de la propia aplicación de la estación *Experion*.

Alarm Enable	Alarm Appearance	Alarm Processing	Alarm Shelving	Alarm Forwarding	Alarm Suppression
<b>Suppression Status</b> █					
<input type="checkbox"/> Clear All Filters    Enable Group					
Suppression Group	State				
Alarmas dinamicas EXT L1 █	Suppressing				
Alarmas dinamicas EXT L1 █	Suppressing				
Alarmas dinamicas EXT L2 █	Not suppressing				
Alarmas dinamicas EXT L2 █	Not suppressing				
Alarmas Dinamicas M/B U1	Not suppressing				
Alarmas Dinamicas M/B U2	Suppressing				
Alarmas dinamicas PRIM U1 sin temporizar	Not suppressing				
Alarmas dinamicas PRIM U1 temporizadas	Not suppressing				

Figura 7.6. Menú de dinámicas y estado de supresión o no-supresión en DAS.

#### 7.4. Display gráfico mediante HMI

Dado que la planta se encuentra en un estado de migración, los gráficos de nativa aún se usa de forma mayoritaria, y se necesita un indicador visual del estado de supresión de las alarmas dinámicas asociadas a cada equipo en el panel de control.

Su configuración es manual: se crea un objeto de campana y se configura asignándole una ubicación intuitiva para los panelistas y unos colores acorde al estado de supresión.

La campana se configura de modo que cuando la señal del *trigger* esté inactiva, la campana aparezca de color amarillo indicando que las alarmas asociadas a este equipo están activas. Cuando se activa la señal de la dinámica (pasando el *trigger* a inactivo o *off-normal*), la campana amarilla queda tachada por una línea roja para indicar en el panel de control que las alarmas de este equipo están siendo suprimidas.

También se incluye un pequeño cuadro de texto que indica que los objetos de campanas incorporados recientemente son indicadores de una dinámica de supresión de alarmas.



Figura 7.7. Estado de supresión (izquierda) y no-supresión (derecha) de alarmas dinámicas con indicación de texto (DAS.PRM) en la estación nativa.

También se configura un tercer modo de campana: el objeto se pone de color rojo parpadeante cuando se detecta un fallo en los programas (principal y redundante), que se encuentran en AMs distintos.

Si se diera el fallo de ambos programas, a diferencia de DAS, no se podrían dejar las alarmas en un estado seguro de activación. El motivo es que el AM que contiene la dinámica es el mismo que contiene todos los programas asociados a cierto equipo, incluidos paros y marchas. En caso de fallo de comunicación, sería imposible de la misma forma ejecutar la dinámica como lo sería el arranque del equipo.

La configuración de la primera campana se usa como plantilla para todas las posteriores, en donde el patrón de colores con la activación y desactivación es el mismo. Se usa esa misma campana en todos los puntos de proceso que tengan dinámica asociada y se edita el programa del *trigger* a consultar, junto con el texto.

En DAS, en cambio, al tratarse de una aplicación preinstalada en *Experion*, la indicación gráfica de la supresión de alarmas dinámicas se muestra de forma automática en los gráficos de los equipos afectados, con una marca de color gris oscuro en la parte izquierda del recuadro de visualización del valor actual de la señal.

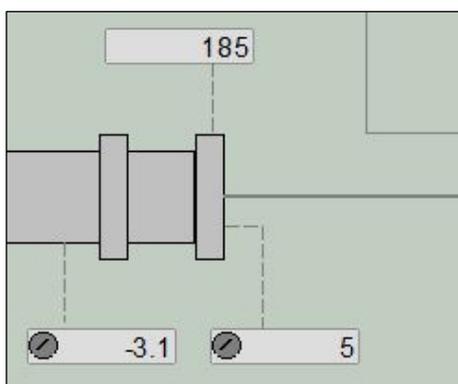


Figura 7.8. Estado de supresión (abajo) y no-supresión (arriba) de alarmas dinámicas en *Experion*.

En estos gráficos, en caso de fallo (pérdida de la lectura del *trigger*), no se apreciaría gráficamente, solo se observaría la etiqueta de la variable en un estado normal, con las alarmas activas. Esta capa de protección es una clara ventaja respecto la estación nativa, donde en caso de fallo el operador debería tomar medidas, mientras que en DAS simplemente se recuperarían las alarmas.

## 8. EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS

Las mejoras que suponen las dinámicas de alarmas son en su mayoría de seguridad, dado que la única inversión económica de este proyecto es la de personal y capital humano.

Por una parte, la reducción del número de disparos implica un aumento en la concentración de los operadores, con menos distracciones por alarmas molestas y una localización más intuitiva de las anomalías, reduciendo las posibilidades de que un error humano o una avalancha de alarmas derive en un incidente mayor.

Por otra parte, las dinámicas mejoran considerablemente los valores semanales de alarmas y los KPIs fijados por la filosofía de alarmas, avalando con calidad a la planta y a los proyectos de reducción de alarmas paralelos que están teniendo lugar.

Los primeros valores obtenidos después de la implementación de las dinámicas presentan los siguientes problemas de rearme:

El sub-grupo G-1, que depende de la marcha de la bomba de alimentación tenía dicha marcha como única condición de rearme y no se tuvo en cuenta que las bombas se probaban antes del arranque de la planta, por lo que la primera vez que un arranque tuvo lugar dispararon todas las alarmas de ese grupo porque se habían activado en las pruebas de bombas.

Para solucionar este problema, se editó el programa que contenía la dinámica y se añadió una segunda condición de rearme: la marcha del agitador, como en el caso del G-2 (dependiente de la presión del reactor y la marcha del agitador). Se elige esta condición porque el agitador se pone en marcha en primer lugar cuando se da la orden de arranque, así que es equivalente a la puesta en marcha de la planta.

En ese mismo arranque se presencié una interrupción por problemas con las válvulas de alimentación al reactor. El programa de arranque configura un límite de tiempo para comprobar su apertura y si no se detecta en ese margen (o se hace fuera de él), se interrumpe el arranque.

El programa de la dinámica no tenía dicha orden de interrumpir, así que cuando se leyó la señal de válvulas abiertas el G-3 activó las alarmas de nuevo sin haberse puesto en marcha con éxito. Eso implicó una avalancha de todas las alarmas de ese grupo mientras el arranque estaba siendo interrumpido y se estaba llevando la planta a un estado seguro de paro.

Para no dificultar la lectura del programa se propone la inclusión de una nueva señal como desencadenante de la dinámica. Esta señal es la activación del programa de vigilancia del paro, y tiene un comportamiento simultáneo al arranque y paro de la planta.

El comportamiento de esta señal es inverso a la señal de paro: si el paro de planta está en ON, el programa de paradas está aún en ON. Cuando una parada ha finalizado y la planta ya está en estado seguro, este programa pasa a OFF, por lo que su inclusión no se solaparía con el primer defecto y no provocaría ningún problema de lectura.

En el instante en que se da la orden de arranque, la señal del programa de parada se vuelve a activar (ya que el programa se queda en un modo de vigilancia en *stand-by*, listo para actuar en caso de parada). Si el arranque es exitoso, se mantiene activa hasta la próxima parada, y si el arranque se aborta o interrumpe esta señal se vuelve a desactivar instantáneamente. Dada la simultaneidad de esta señal con la de un aborto y/o un arranque exitoso, se puede usar para mantener las alarmas silenciadas hasta que se haya finalizado la puesta en marcha.

### 8.1. Mejoras cuantitativas con la implementación de dinámicas de alarmas

El total de alarmas incluidas en dinámicas de paro son 215, y teniendo en cuenta que no todas disparan en todos los casos de parada, se estima una reducción mínima del 50% de las alarmas que disparan exclusivamente en situaciones de paros de planta y un 30% en arranques (dado que las condiciones de rearme de las alarmas son bastante conservadoras y algunas alarmas de bajo valor podrían activarse muy pronto).

En el anexo A.10.2. se encuentran todas las muestras de toma de datos (paradas y arranques antes y después de la implementación de las dinámicas) para la construcción de las tablas de mejora cuantitativas.

Algunas alarmas incluidas en los grupos a silenciar se han manifestado con su prioridad habitual, por lo que la efectividad de las dinámicas se ha visto afectada en un principio.

Entre las posibles causas de la no-activación de alarmas dinámicas están: su disparo previo a la activación de la dinámica, la simultaneidad de la activación de la dinámica con el propio disparo o problemas con una señal concreta.

Se entrevista a los panelistas para saber si presenciaron las alarmas y se revisa el *software* interno con el equipo de TI y O&C, y así poder localizar el problema en la estación de control o en el programario de gestión de alarmas.

Después de presenciar una parada y un arranque se comprueba que las dinámicas funcionan correctamente silenciando las alarmas en las estaciones de control y que el origen del problema real se encuentra en la transcripción errónea de algunos eventos de disparo al programa interno de gestión de alarmas.

Con estos mismos paro y arranque se localizan algunas alarmas que no se habían incluido en dinámicas y que podrían ser buenas candidatas y también algunas alarmas PVLL que no habían sido recopiladas (estando las PVLO de las mismas señales en algún grupo dinámico) y se vuelven a preparar nuevas listas de propuestas para completar las aplicaciones dinámicas y dar un seguimiento a la mejora continua.

La dinámica de formación (marcha y paro del extrusor M/B de aditivos) no se ha incluido en la observación final porque su operación es independiente de la marcha de la planta (depende solamente del grado que se esté produciendo) y sus alarmas afectan solo a su propio paro.

A continuación, se resumen la media de alarmas silenciadas por cada dinámica y su efectividad en situaciones de arranque y paro. No hay ninguna parada programada este año, por lo tanto, todas las muestras tomadas después de las dinámicas son de paradas de emergencia y arranques consecutivos.

Las dinámicas de equipos concretos pueden activarse sin necesidad de un paro de planta, pero siempre desenlazarían en un primer defecto, y en una parada de emergencia.

La dinámica principal (que sí se activa con el paro de la planta) está clasificada en 4 grupos según su condición de rearme en el momento de la puesta en marcha de la planta. Las condiciones de rearme se fijan en función del momento de arranque en que se quieren recuperar, no por equipos. Por lo tanto, alarmas asociadas a un equipo se pueden encontrar en grupos diferentes según el interés que se tenga en activarlas en momentos clave de la puesta en marcha.

Tabla 8.1. Reducción de alarmas durante la parada de emergencia de la planta<sup>18</sup>.

Dinámica	Alarmas incluidas	Disparos antes DIN	Disparos silenciados	Disparos después DIN	Efectividad dinámica
DIN-2	33	17	9	<1	95,7 %
DIN-3	3	3	3	0	100 %
DIN-4	4	4	4	0	100 %
DIN-5	11	7	5	<1	96 %
DIN-6	28	11	15	0	100 %
DIN G-1	30	20	13	<1	95,7 %
DIN G-2	38	28	35	0	100 %
DIN G-3	38	28	19	0	100 %
DIN G-4	15	5	3	0	100 %

En general, las dinámicas de paradas han resultado muy eficientes y colaboradoras a la mejora general de los KPIs. Las alarmas que permanecen disparando son normalmente paros de los propios equipos (alarmas inevitables por secuencia del programa y descartadas de silenciar), alarmas imprescindibles como fallos en comunicación y valores muy altos, o alarmas relacionadas con otra planta o unidad.

Por lo general, la activación de las dinámicas es muy rápida. Los casos en los que la efectividad se ve afectada son siempre casos en que la alarma del grupo a silenciar se dispara de forma simultánea a la activación de la dinámica (como el paro de una bomba de catálisis, cuya alarma dispara a la vez que activa la dinámica principal), dejando a la dinámica un tiempo de carga tan reducido que no alcanza a silenciar la alarma en cuestión, pero sí las posteriores.

Este suceso es difícilmente solucionable pero prácticamente despreciable (no sucede en todos los casos, y cuando sucede no disparan más de dos alarmas). Las dinámicas se siguen considerando muy eficaces y rápidas en su activación.

Las dinámicas DIN-3 y DIN-4 son las más efectivas y fáciles de entender, porque son grupos muy pequeños y con unas condiciones de supresión y rearme muy adecuadas (marcha-paro de un compresor suprime o activa las alarmas del sistema de lubricación).

En cuanto a la puesta en marcha, se evalúan todas las dinámicas de forma conjunta desde la orden de arranque hasta el final de la secuencia, independientemente de cuando se rearme cada dinámica.

Tabla 8.2. Reducción de alarmas durante la puesta en marcha de la planta.

Dinámica	Alarmas incluidas	Disparos antes DIN	Disparos silenciados	Disparos después DIN	Efectividad dinámica
DIN-2	33	10	1	<1	70 %
DIN-3	3	0	0	0	-
DIN-4	4	0	0	0	-
DIN-5	11	2	<1	<1	50 %
DIN-6	28	13	5	0	100 %
DIN G-1	30	36	10	<1	92,4 %
DIN G-2	38	27	14	<1	98,6 %
DIN G-3	38	21	13	0	100 %
DIN G-4	15	0	0	0	-

<sup>18</sup> Las referencias a los códigos de cada dinámica en el apartado 5.8.

El extrusor, la cortadora y los compresores primario-auxiliar no presentan muchas alarmas durante el proceso de puesta en marcha porque estos equipos se han arrancado previamente a la orden de arranque de la planta y sus dinámicas se rearman cuando los valores de operación superan los de alarma PVLO, así que las alarmas que se puedan dar de forma posterior al rearme se consideran necesarias.

La ausencia de alarmas del G-4 de la dinámica principal se debe a que todas las alarmas incluidas son la apertura o cierre de aspiración-impulsión del compresor secundario o su paro, situaciones exclusivas de modo de paro, que no dispararían en un arranque exitoso.

La misma premisa aplica para G-3 y G-4, ya que los compresores nunca podrían arrancar con normalidad si existieran problemas con la lubricación.

La baja efectividad de algunas dinámicas es por la misma simultaneidad que se da en las paradas, con un impacto aparentemente mayor, ya que antes de las dinámicas tampoco eran disparos muy abundantes, y en proporción porcentual se magnifican.

La reducción de las alarmas en casos de arranque es inferior a los casos de parada por dos motivos principales: primero, las condiciones de rearme son bastante conservadoras para no poner en riesgo la planta y segundo, las fluctuaciones durante la puesta en marcha son muy comunes, así que los disparos por altos valores o desviaciones (no incluidos en dinámicas) son inevitables.

Un buen ejemplo de la notoriedad de las dinámicas es la presión del reactor. De media, en cada parada hay 27 alarmas intermitentes relacionadas con la baja presión o sus fluctuaciones rápidas. Todas estas alarmas están en un grupo dinámico, reduciendo los disparos a cero.

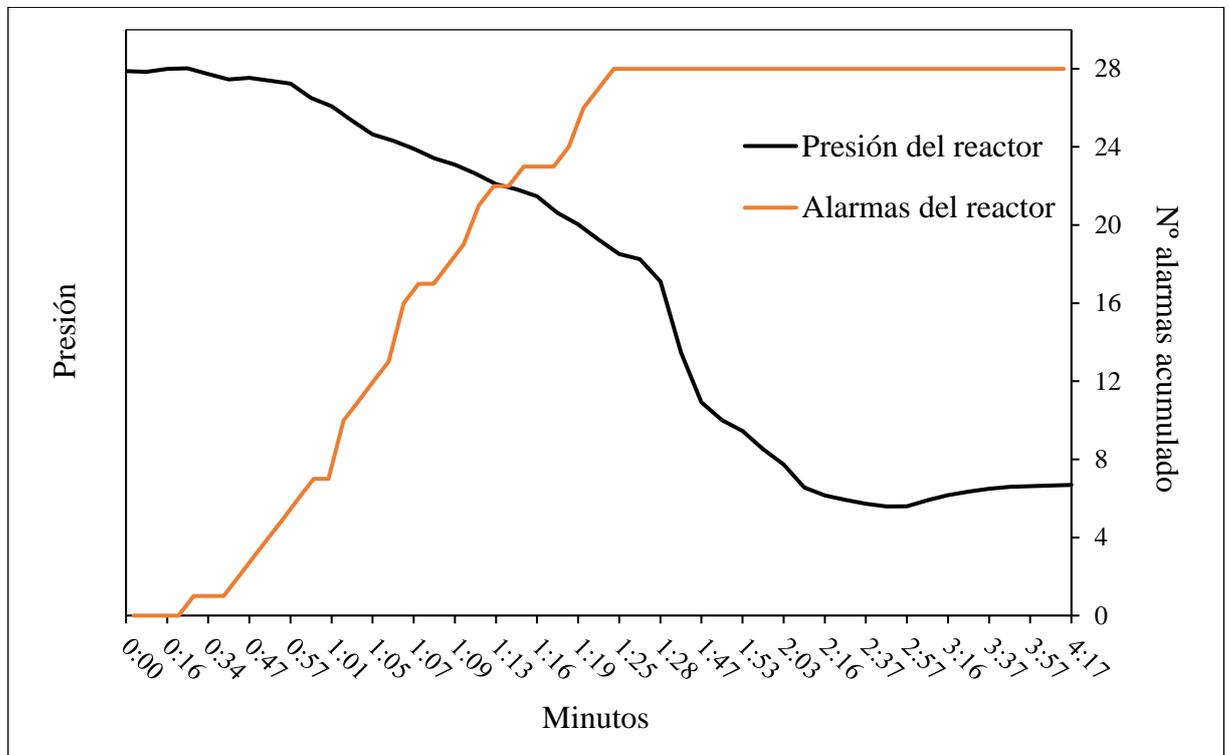


Figura 8.1. Alarmas de presión del reactor acumuladas en una parada antes de la dinámica.

En el caso de los arranques, difícilmente se logran silenciar todos los disparos, ya que las condiciones de rearme son más conservadoras y después de la reactivación de las alarmas se siguen dando fluctuaciones en el ajuste de presión del reactor.

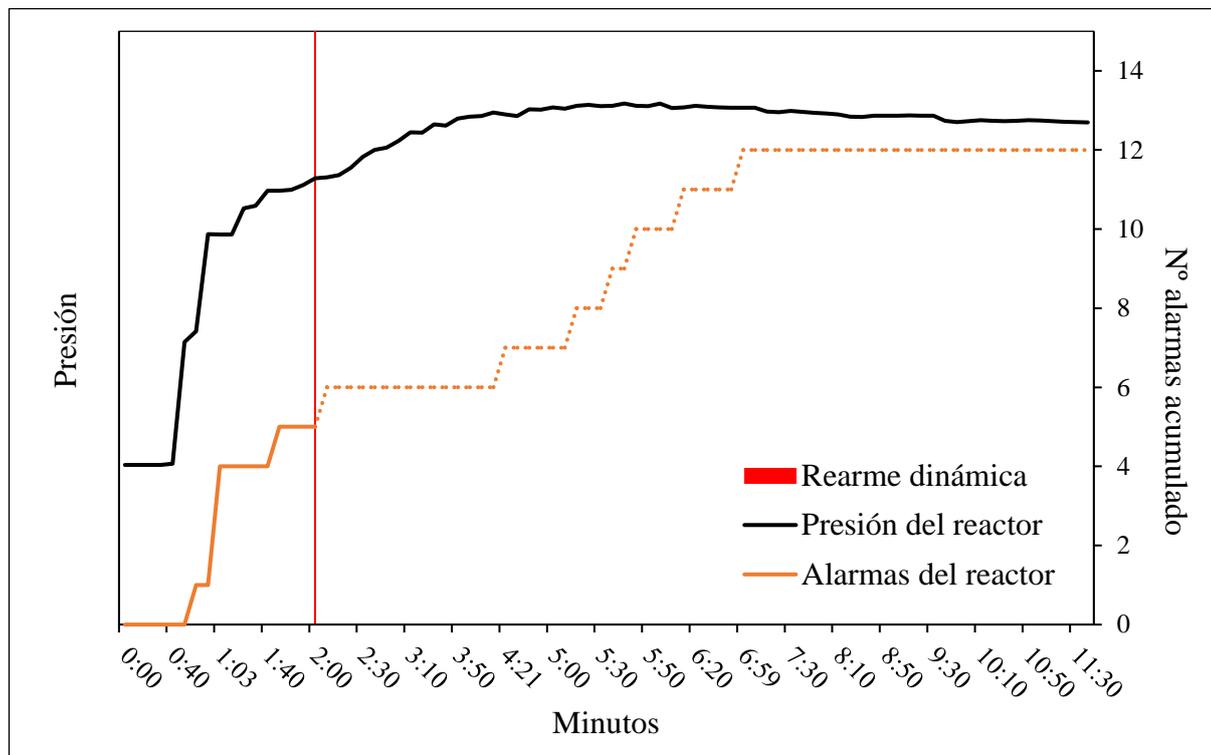


Figura 8.2. Alarmas de presión del reactor acumuladas en un arranque después de la dinámica.

En el gráfico anterior se observa como los disparos silenciados (línea naranja continua) son menos que los presenciados (línea naranja discontinua) debido a un rearme muy temprano y unas condiciones de rearme muy conservadoras, ya que se siguen presenciando fluctuaciones durante bastantes minutos posteriores al alcance del valor de rearme.

Como parte de las tareas de mantenimiento del sistema de alarmas se va a estudiar cada dinámica de forma individual para proponer al departamento de producción nuevas condiciones de rearme (en un momento del arranque ligeramente posterior a las actuales) para poder reducir todavía más las alarmas en arranques.

A pesar de que las condiciones de rearme ahora mismo son las adecuadas, se observa que en casos de arranques se dispone de mucho más personal, y todo el personal está con la totalidad de su atención en el monitoreo (sobre todo de equipos críticos como el reactor), por lo que se podría atrasar un poco el momento de rearme de las dinámicas, siempre con la total seguridad por parte del departamento de producción de que eso no pondría en peligro la planta y que se mantendría un monitoreo exhaustivo en todas las puestas en marcha.

## 8.2. Rendimiento del sistema de alarmas

La mejora del rendimiento del sistema de alarmas después de la implementación de dinámicas es muy notable. Dentro de la efectividad de éstas, las medias de alarmas durante paradas y arranques se ven mucho más cercanas a los KPIs (aunque los siguen superando en momentos puntuales, pero este problema debe ser tratado mediante la racionalización y revisión de la necesidad de cada alarma).

### 8.2.1. Impacto de las dinámicas sobre el rendimiento

Con las dinámicas implementadas, las alarmas que dan peso a las medias son por lo general intermitencias relacionadas con fallos de comunicación, de instrumentación o de malfuncionamiento de equipos.

Todas estas alarmas son tratadas semanalmente y son fáciles de justificar, ya que se trata de problemas reales detectados, no de alarmas de desviación innecesarias que se han dado en una situación de parada o arranque.

Tabla 8.3. Alarmas según modo de operación antes de las dinámicas.

Variable	Parada	Arranque	Planta parada
Duración media (min)	17,5	24,3	45
Media de disparos	217,3	188,7	54,3
Media de disparos (Al/10 min)	124,9	81,6	13,3

Tabla 8.4. Alarmas según modo de operación después de las dinámicas y reducción.

Variable	Parada	Arranque	Planta parada
Duración (min)	17,4	21,6	100
Alarmas disparadas	48,2	39,8	26,6
Alarmas disparadas / 10 minutos	25,3	18,4	2,7
Alarmas silenciadas	96,8	43	28,2
Alarmas silenciadas / 10 minutos	55,6	20,3	2,8
<b>Reducción (silenciadas/totales)</b>	<b>67,6 %</b>	<b>52 %</b>	<b>53,2 %</b>

Es necesario aclarar que estos valores son las reducciones de los disparos reales en cada caso dinámica de paro o arranque respecto el total de disparos que hubiera tenido lugar en esa misma situación si no hubieran sido implementadas las aplicaciones de alarmas dinámicas. Se entiende como una superposición de las alarmas disparadas sobre las totales (disparadas y suprimidas).

Eso excluye el efecto de los otros tratamientos constantes (que se verán a continuación) que con el tiempo también han colaborado en gran medida a la reducción de alarmas.

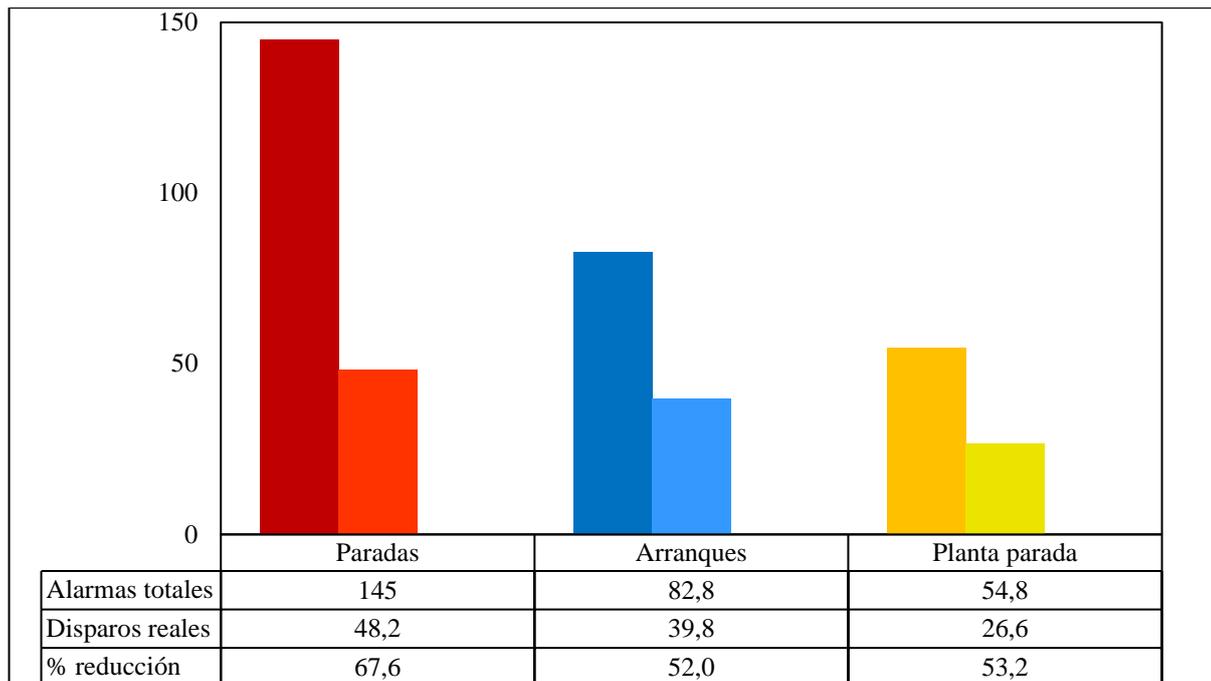


Figura 8.3. Media de disparos silenciados respecto el total de alarmas después de las dinámicas (barra izquierda: alarmas totales y barra derecha: disparos reales).

Tal y como estaba previsto, la mayor reducción se ha dado en los casos de parada, ya que la activación de las dinámicas es muy rápida (a diferencia del rearme, que es bastante más temprano y eso tiene un efecto sobre el modo de arranque, cuya reducción no es tan notable, aunque sigue siendo muy buena).

La mejora en el estado estacionario de paro también es menor que la de parada de planta porque las alarmas que se suelen dar en esos casos son de otro tipo (ya que con la planta parada se llevan a cabo tareas de mantenimiento, apertura y cierre de equipos, pruebas de funcionamiento e instrumentación...).

### 8.2.2. Impacto global de las dinámicas y otros tratamientos sobre el rendimiento

Las siguientes tomas de medidas comparan las alarmas durante paros, arranques y planta parada respecto el año anterior. Esto se traduce en una reducción más destacable aun, ya que se observa el efecto de los otros tratamientos de alarmas, como el tratamiento de *Bad Actors*, la modificación de valores de disparo o la eliminación de alarmas duplicadas, descritos en el apartado 6.

El tratamiento semanal de *Bad Actors* muestra la importancia de la constancia en el mantenimiento del sistema de alarmas. Con las reuniones semanales se consigue tratar las alarmas con más peso de intermitencia (haciendo *shelvings* de mantenimiento, creado o modificando los valores de *delay* o *deadband*...).

De esta forma, cada semana las alarmas con más peso de intermitencias lo son con menos disparos (tabla 6.2) acercándose cada vez más a los valores fijados por los KPIs.

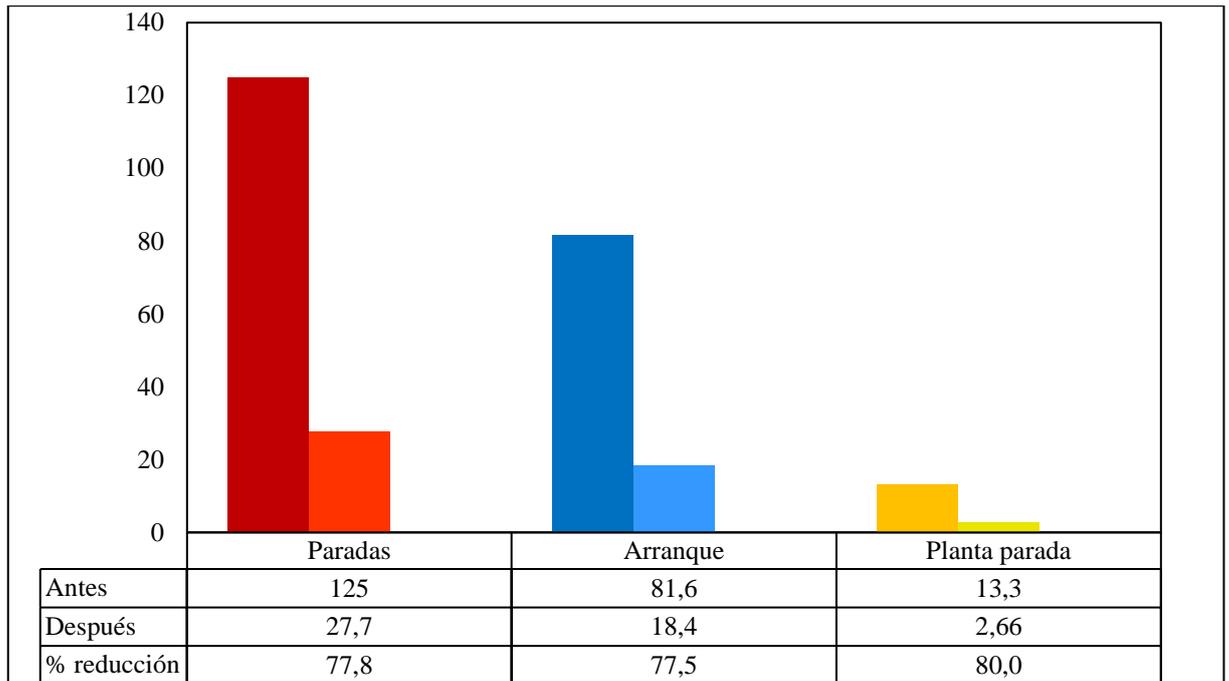


Figura 8.4. Alarmas **en 10 minutos** antes y después de la implementación de dinámicas.

La gran reducción de alarmas cuando la planta está en estado estacionario de paro se debe en gran parte a la formación de operadores y panelistas sobre alarmas, que tratan alarmas innecesarias con métodos como el *shelving*.

Las medias generales mensuales (medias que incluyen todas las plantas de la estación de control y todos los modos de operación) también se muestran cada vez más cercanas a los KPI fijados por las buenas prácticas, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8.5. Media quincenal de alarmas cada 10 minutos antes y después de las dinámicas.

Variable	Valor
Alarmas cada 10 minutos antes de las dinámicas	7,52
Alarmas cada 10 minutos después de las dinámicas	2,44
Valor aceptable de alarmas cada 10 minutos según los KPIs	1,00
Valor máximo manejable de alarmas cada 10 minutos según los KPIs	2,00
Reducción general de alarmas de la planta	75,5 %

A pesar de que aún se distinguen fácilmente los días de puesta en marcha o parada de emergencia sobre las medias mensuales por sus elevados disparos, las alarmas se encuentran mucho más cerca de los valores manejables, traduciéndose en un mayor rendimiento del sistema y una mayor confianza en éste por parte de operadores y panelistas.

Se puede considerar que, después de la implementación de las dinámicas de por sí solas (con la colaboración de los otros tratamientos) el sistema de alarmas de la planta se podría clasificar como estable en términos de rendimiento (anexo A.4). Para llegar a robusto faltan las tareas de racionalización por parte de O&C y de gestión de inhibiciones por parte de panelistas.

Pese a no haber sido sometido a una auditoría posterior, la implementación de dinámicas, la manejabilidad de disparos en la mayoría de situaciones y la confianza de los operadores avalan un buen rendimiento del sistema.

### 8.3. Mejoras cualitativas de seguridad

Las mejoras en seguridad son: por un lado, el sistema de alarmas se aligera mucho y esa mejora es intrínseca a una planta más segura según la filosofía de alarmas.

Se estima que racionalizando los sistemas de alarmas se aumenta entre un 3 y un 8% la atención general de los panelistas, y hasta un 20% en situaciones anormales libres de avalanchas. En muchos casos, las avalanchas provocan un nivel tan alto de estrés al operador que su tiempo de respuesta se ve muy afectado, y una anomalía con una solución sencilla termina en un incidente menor o en un paro de planta.

En la siguiente figura se observa como una avalancha de alarmas aparece por anomalías en un caudal y como la acción de mitigación (cambio de SP) se toma una vez terminada la avalancha y hecha la diagnosis. Si no se hubiera dado una avalancha, el operador podría haber localizado el problema y tomar acción antes, evitando la parada de emergencia.

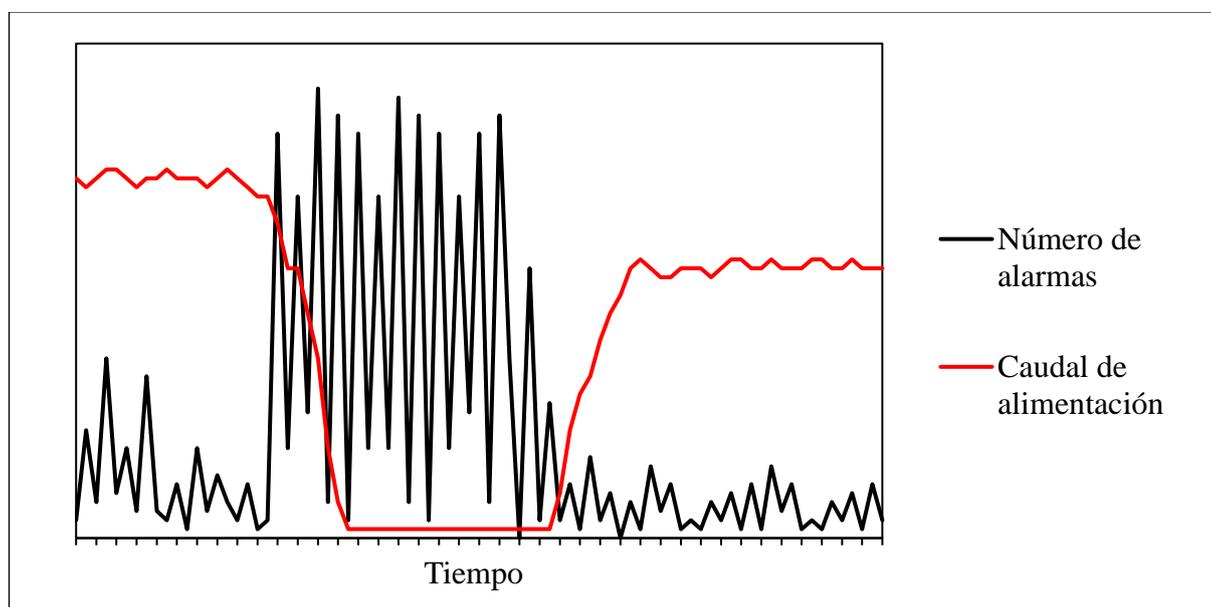


Figura 8.5. Tiempo de respuesta por parte del operador (cambio de *set-point* del caudal de alimentación) ante una avalancha de alarmas.

Para evaluar las mejoras en seguridad se entrevista a operadores y panelistas sobre la diferencia en cuanto a atención y monitoreo que ha supuesto la implementación de las dinámicas y su impacto sobre la pantalla de alarmas del panel de control.

En los modos de arranque y paro los operadores y panelistas tenían hasta este momento la costumbre que monitorear los paneles mientras silencian alarmas de forma sistemática sin parar atención ni leer el sumario de alarmas.

Eso se traducía en una nula atención a las alarmas, y teniendo en cuenta que en una misma estación se encuentran las dos unidades de PEBD y la de compuestos, se han presenciado incidentes en una de las unidades porque la otra estaba parando y el panelista estaba distraído silenciando la avalancha de alarmas. Si la unidad en paro hubiera desactivado sus alarmas, el panelista podría haber localizado las anomalías en la otra unidad y evitar su parada por falta de acciones de mitigación.

Los operadores están acostumbrados a escuchar muchas alarmas críticas y de emergencia en estos modos de operación, y con la implementación de las dinámicas han notado una mayor atención especialmente a las críticas, porque al estar silenciadas las innecesarias saben que si se da una alarma con prioridad de emergencia seguramente se trate de la otra unidad o de la planta de compuestos y que sí deben prestarle atención.

Al no tener que revisar la pantalla de alarmas de manera constante, también notan más reflejos sobre la monitorización, ya que pueden intercalar su atención a las pantallas principales con más frecuencia.

Por otro lado, es necesaria la formación y el tiempo de adaptación a las dinámicas, porque los operadores se encuentran en un momento donde también se están migrando los gráficos y todas las metodologías de los paneles están cambiando de forma simultánea.

Algunos afirman que se dan cuenta de la reducción de alarmas, pero aun así les cuesta no silenciar los pocos disparos de forma constante y prestarles atención, ya que los modos de arranque y parada requieren mucho monitoreo y su forma de mantenerse concentrados hasta el momento ha sido silenciar todas las alarmas de forma sistemática.

Los operadores y panelistas están muy seguros de que, con este primer paso hacia la racionalización de alarmas, su tiempo de respuesta a las anomalías es mucho menor y que pueden evitar incidentes que antes no podrían por avalanchas de alarmas que saturan su atención.

Tabla 8.6. Evaluación cualitativa del efecto de las dinámicas por parte de panelistas.

Pregunta	Operador / Panelista				
	1	2	3	4	5
Nota diferencia notable con la implementación de dinámicas	✓	✓	✓	✓	✓
Antes estaba atento a las alarmas en arranques - paradas	X	X	X	X	X
Ahora está atento a las alarmas en arranques - paradas	X	X	✓	✓	X
Sigue silenciando las alarmas sin mirar por falta de costumbre	✓	✓	X	X	✓
Se siente menos estresado y más atento en arranques - paradas	X	X	X	✓	X
Confía en el sistema de alarmas	✓	✓	✓	✓	✓
Localiza con facilidad las dinámicas en los gráficos nativos	X	X	✓	✓	✓
Localiza con facilidad las dinámicas en los gráficos <i>Experion</i>	X	X	X	✓	X
Le gustaría disponer de otras dinámicas (en planta operativa)	✓	✓	✓	✓	✓
Cree que la planta ahora es más segura	✓	✓	✓	✓	✓

Por lo general, se espera una adaptación progresiva por parte de operadores y panelistas a los nuevos gráficos (fuera de alcance) y a los nuevos tratamientos de alarmas. Una fluidez adquirida con el manejo de los nuevos paneles y un acomodamiento a la falta de alarmas en modos de arranque y parada crearán un ambiente más tranquilo y seguro en el panel de control.

## 9. CONCLUSIONES

La implementación de aplicaciones de alarmas dinámicas para los modos con más abundancia de disparos ha surtido efecto en diferentes ámbitos problemáticos al principio del proyecto, sobre todo en el tratamiento de la sobreinformación que sufrían los paneles de control.

Con las pequeñas revisiones posteriores, el total de alarmas incluidas en grupos de dinámicas asciende a más de 220 en cada una de las unidades de la planta. Con el uso de los programas de visualización y las bases de datos se ha podido acceder a las características de cada alarma: valores de tara, equipos de dependencia, prioridades...

La implementación ha sido exitosa en ambos sistemas (nativo y *Experion*). A pesar de la antigüedad de la estación nativa, el procesamiento de los programas es muy rápido, siendo las excepciones muy pocas y despreciables (algún caso de disparo de alarma de grupo dinámico por la simultaneidad a la activación de la dinámica).

Esta eficacia también se ha notado con los gráficos de proceso, ahora con la representación de cada grupo dinámico, con la pequeña diferencia de que en la estación nativa se representa la activación o no de un grupo dinámico completo y en la estación *Experion* se visualiza el estado de supresión de cada alarma individual.

La reducción de las alarmas innecesarias ha sido muy notable durante los modos de puesta en marcha y parada (reduciéndose en más de un 50% en todos los modos). Su efecto se observa tanto en los valores medios de alarmas de estos modos, como en los KPIs generales.

La evolución temporal siempre es notable hacia una mejora constante, notándose la reducción de intermitencias tanto en operación (gracias a los tratamientos de alarmas individuales) como en arranques y paradas, mejorando la eficiencia y el número de alarmas de grupos a silenciar en cada dinámica.

Este acercamiento a los valores de los KPI consigue que el rendimiento del sistema de alarmas mejore consistentemente y que la planta se encuentre cada vez más cerca de un modelo robusto (faltando el tratamiento de alarmas clave: la racionalización) propuesto por la normativa ISA 18.2. y la filosofía de gestión de alarmas.

Los panelistas aseguran que se empiezan a notar más seguros de forma progresiva durante el arranque y paro de planta cuando su atención no se encuentra saturada por avalanchas y alarmas intermitentes. La implementación de las dinámicas, junto con la migración a unos gráficos mucho más intuitivos y limpios conseguirán eventualmente que los operadores lo interioricen, no se sientan sobreinformados y que confíen en el sistema de alarmas.

El ciclo de vida consiste en mucho más que la propia implementación, por eso es importante seguir trabajando en la gestión de otro tipo de alarmas, la racionalización y sobre todo en el mantenimiento de las configuraciones actuales, una implementación exitosa sin mantenimiento acabará por perder su eficacia.

Las futuras mejoras propuestas fuera de alcance son: avances con la gestión de alarmas, realizar otros tipos de dinámicas para la planta en estado operativo (como la marcha de bombas principales o de reserva silenciando las alarmas de la opuesta) o el cambio de línea de extrusión de compuestos. Se va a seguir también con un ritmo constante de tratamiento de *Bad Actors* y con el mantenimiento del sistema de alarmas con las alarmas de nueva incorporación. Cuando estas tareas estén finalizadas de forma óptima, se procederá a la racionalización de la planta.

10. BIBLIOGRAFÍA

Ref.1: REPSOL, S.A. (2000-2020). *Química: polietileno*. [Consulta en línea].

Ref.2: REPSOL, S.A. (octubre 2016). *Ficha datos de seguridad: ETILENO*. Tarragona. [Consulta en línea].

Ref.3: REPSOL, S.A. (2000-2020). *Catálogo de productos: PEBD*. [Consulta en línea].

Ref.4: REPSOL, S.A. (noviembre 2011). *¿TDC-3000? ¡Pero si es muy fácil!* Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.5: Departamento de Optimización y Control Química, REPSOL S.A. (N/A). *Manual básico del técnico de optimización y control química*. (1a revisión). Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.6: International Society of Automation (junio 2016). *ISA18 alarm management standard updated*. [Consulta en línea].

Ref.7: Hollifield, Bill; Habibi, Eddie (2006). *Alarm Management Handbook: A Comprehensive Guide*. (2a edición). EEUU: 360 Digital Books.

Ref.8: REPSOL, S.A. (febrero 2016). *Documento de filosofía y gestión de alarmas*. (1a revisión). Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.9: Departamento de Optimización y Control Petróleo, REPSOL, S.A. (octubre 2015). *Función "Dynamic Alarm Suppression" en servidores Experion*. Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.10: PAS University (N/A). *High Performance HMI™: Improve Safety and Performance with Effective Operator Graphics (data sheets)*. Tarragona. [Consulta en línea].

Ref.11: PAS University (noviembre 2020). *AMW 100: Alarm Management Workshop*. Tarragona [Curso en línea].

Ref.12: Hollifield, Bill (N/A). *A high Performance HMI: Better Graphics for Operations Effectiveness*. EEUU. [Consulta en línea].

Ref.13: Dirección de ingeniería y desarrollo, REPSOL, S.A. (febrero 2018). *Gráficos de alto rendimiento (HMI). Workshop diseño*. Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.14: REPSOL S.A.; (N/A). *Descripción del proceso PEBD*. Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.15: Mondragón, Jaime (Universidad Nacional Autónoma de México) (septiembre 2001). *Polimerización*. Tarragona [Consulta en línea].

Ref.16: REPSOL, S.A.; División Química (N/A): *Diagrama Causa/Efecto paros de PEBD Unidad 2*. Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.17: Lucio, Raquel; departamento de Optimización y control; REPSOL QUÍMICA (diciembre 2019). *Auditoría SGA: Paneles Polioles/Glicoles y PEBD*. Tarragona. [Documento interno confidencial].

Ref.18: Honeywell (mayo 1998). *Control Language Application Module Reference Manual*. (5a revisión). EEUU: Honeywell Inc.

Ref.19: Honeywell (octubre 1996). *Control Language High-Performance Process Manager Reference Manual*. (3a revisión). EEUU: Honeywell Inc.

A. ANEXOS

## A.1. Propiedades del etileno y del polietileno de baja densidad

### A.1.1. Nota técnica del etileno

#### INTRODUCCIÓN

El etileno es el mayor producto químico orgánico en volumen producido actualmente. Constituye la materia prima más importante de la industria petroquímica y se transforma en multitud de productos intermedios y finales a gran escala, principalmente materiales poliméricos como plásticos, resinas, fibras y elastómeros. Otros productos importantes derivados son los disolventes, detergentes, recubrimientos, plastificantes y anticongelantes.

#### APLICACIONES

El etileno se usa como materia prima para la fabricación de polímeros (polietileno en sus diversos tipos: PEBD, PEAD, PE LINEAL) y copolímeros (EVA-etileno/acetato de vinilo, caucho etileno-propileno, ...). Asimismo, para la obtención de diversos monómeros (cloruro de vinilo, estireno, acetato de vinilo, ...) y productos químicos importantes (óxido de etileno, acetaldehído, etanol, alfaolefinas, ...).

#### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Tabla A.1.1. Propiedades físicas y químicas del etileno.

Composición	Método	Unidades	Límites	
			Mín.	Máx.
Etileno	Cromatografía gas	% volumen	99,9	-
Monóxido de carbono	Cromatografía gas	ppm volumen	-	5
Oxígeno	Cromatografía gas	ppm volumen	-	2
Dióxido de carbono	Cromatografía gas	ppm volumen	-	6
Azufre	ASTM-D-4468	ppm volumen	-	3
Hidrógeno	Cromatografía gas	ppm volumen	-	5
Acetileno	Cromatografía gas	ppm volumen	-	5
C3 y más pesados	Cromatografía gas	ppm volumen	-	5
Metano + Etano	Cromatografía gas	ppm volumen	-	1000
Agua	UOP-344	ppm volumen	-	5
Metanol	Cromatografía gas	ppm volumen	-	3

#### SEGURIDAD Y MANIPULACIÓN

A presión atmosférica el etileno es un gas transparente, ligeramente oloroso, de densidad prácticamente igual al aire, no irritante para los ojos y el sistema respiratorio. Soltado a la atmósfera se difunde rápidamente y a una concentración muy baja de 2,7% en volumen forma una mezcla inflamable con el aire. No da ninguna señal de su presencia, de tal modo que cualquier escape accidental debe ser tratado con la mayor precaución y con observación estricta de los procedimientos de seguridad contenidos en los manuales de operación. No se han documentado daños por inhalaciones temporales. Se ha de hacer un diseño cuidadoso en equipos de alta presión y alta temperatura. En condiciones extremas, el etileno puede ser una fuente de iniciación de energía (puntos calientes). La reacción es altamente exotérmica y puede producir un frente de descomposición de llama que podría romper las tuberías y equipos.

### A.1.2. Nota técnica del PEBD

#### PEBD REPSOL ALCUDIA 2520F

El grado REPSOL ALCUDIA 2520F es un polietileno de baja densidad que se fabrica en el reactor autoclave. Está indicado para la producción de películas finas por extrusión tubular y lámina. Combina una notable facilidad de procesado con buenas propiedades mecánicas y ópticas. Contiene antioxidante.

#### APLICACIONES

· Envasado automático, película retráctil, coextrusión de película (con buenas propiedades ópticas), laminación.

Se recomienda trabajar con temperaturas de fundido entre 160-200°C. Las condiciones óptimas de transformación se deben ajustar para cada línea de producción.

#### PROPIEDADES

Tabla A.1.2. Propiedades<sup>19</sup> físicas y químicas del PEBD REPSOL ALCUDIA 2520F<sup>20</sup>.

Propiedades	Valor	Unidad	Método
<b>Generales</b>			
Índice de fluidez (230°C/2,16kg)	2	g/10 min	ISO 1133
Densidad a 23°C	925	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
<b>Mecánicas</b>			
Resistencia al impacto (F50)	70	g	ISO 7765-1
Resistencia al rasgado (Elmendorf) (DM/DT)	200 / 240	cN	ISO 6383-2
Resist. a tracción en punto de rotura (DM/DT)	23 / 20	MPa	ISO 527-3
Alargamiento en el punto de rotura (DM/DT)	440 / 750	%	ISO 527-3
Coefficiente de fricción (Dinámico)	0,5	-	ISO 8295
Brillo (45°)	67	-	ASTM D-2457
Brillo (60°)	106	-	ASTM D-2457
Turbidez	6,5	%	ASRM D-1003
<b>Otras</b>			
Temp. de reblandecimiento Vicat (carga 10N)	98	°C	ISO 306

El grado REPSOL ALCUDIA 2520F cumple la normativa europea de materiales para uso en contacto con alimentos. El producto no está destinado a aplicaciones médicas y farmacéuticas por lo que no se recomienda su uso para éstas.

#### ALMACENAMIENTO

El grado REPSOL ALCUDIA 2520F debe almacenarse en un ambiente seco, zona pavimentada, bien drenada y no encharcable, temperatura inferior a 50°C y protegido de la radiación UV. El almacenamiento en condiciones no adecuadas puede iniciar procesos de degradación o de migración no deseada de los aditivos que incorpora en su formulación, que influyen negativamente en la procesabilidad y en las propiedades del producto transformado.

<sup>19</sup> Valores provisionales pendientes de confirmación cuando se disponga de datos estadísticos.

<sup>20</sup> Película de 30 µm de espesor, relación de soplado 2,5:1

A.2. Planificación: diagrama de Gantt

Tabla A.2.1. Diagrama de Gantt del proyecto.

PLANIFICACIÓN TFGEQ_2102_satoneva	Duración planificada		Duración real		05.10.2020 a 06.06.2021		URV y Repsol Química, S.A.		 																														
	SEMANA																																						
ACTIVIDAD / TAREA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
Formación	■	■																																					
Entrevistas con dptos. producción y procesos		■	■																																				
Recopilación datos arranques y paradas				■	■	■	■	■	■																														
Recopilación nº alarmas según modo de operación																																							
Formación programas de supresión de alarmas																																							
Dinámicas no asociadas a arranque-parada (formación)																																							
Configuración dinámica principal en AM																																							
PIDs																																							
PFD																																							
Hoja de seguimiento 50 % coordinadores																																							
Indisposición de la estación de ing. por migración																																							
Configuración alarmas por equipos en AM/HPM																																							
Configuración C.Prim y C.Aux en AM/HPM																																							
Configuración E/P y cortadora en AM/HPM																																							
Configuración dinámica principal en DAS																																							
1a reunión tutor académico																																							
Configuración alarmas por equipos en DAS																																							
Configuración C.Prim y C.Aux en DAS																																							
Configuración E/P y cortadora en DAS																																							
1a reunión seguimiento con tutor académico																																							
Evaluación funcionamiento de las dinámicas																																							
2a reunión seguimiento con tutor académico																																							
Evaluación de las mejoras en el sistema																																							
Display en HMI																																							
3a reunión seguimiento con tutor académico																																							
Recopilación y estructura de la información																																							
Redacción bases teóricas en la memoria																																							
Redacción procedimientos y resultados en la memoria																																							
Formato final de la memoria y revisión del tutor																																							
Ensayo de la defensa con tutores y supervisores																																							
Entrega y defensa																																							

A.3. Criterios para la selección de prioridades

Tabla A.3.1. Criterios de asignación de la gravedad de las consecuencias.

Categoría de impacto	Ninguno	Menor	Importante	Grave
Personal	Ninguna lesión ni efecto para la salud	Si la respuesta del operador a la alarma puede evitar dañar a una persona, se le asigna a dicha alarma máxima prioridad (como, por ejemplo, las alarmas de gases tóxicos y las de accionamiento de lavado de ojos o ducha de seguridad).		
Público o medioambiente	Ningún efecto	Efecto local: no cruza la línea de vallado ni requiere mayor limpieza. Emisión no requiere ser notificada (solo de forma local) ni se espera multa.	Contaminación provoca daños permanentes. Un solo exceso de límite legal. Notificación requerida con posible resultado de investigación de la agencia.	Emisión tóxica extensa, cruza el vallado. Impacto que involucra la comunidad. Infracciones repetidas con posibles multas. Emisión no controlada de materiales con impacto ambiental y de terceros grave.
Costes o producción	Sin pérdidas	Coste <10 mil €. Requiere únicamente notificación al gerente de primer nivel.	Coste 10-100 mil €. Notificación a nivel regional o al director.	Costes >100 mil €. Notificación al más alto nivel.

Tabla A.3.2. Criterios de asignación de tiempo de respuesta por parte del operador.

Tiempo máximo de respuesta	Actuación
>30 min (sin alarma)	Hay margen de actuación: se debe comunicar al departamento de mantenimiento.
15-30 min (moderado)	Se puede aplazar para terminar alguna tarea pendiente pero no debe dejarse pasar del turno.
5-15 min (rápido)	Finalizar la tarea en curso, si la hubiera y si es corta, y justo a continuación tomar acción.
<5 min (inmediato)	Dejar de forma inmediata lo que se esté haciendo y tomar acción.

#### A.4. Rendimiento de los sistemas de alarmas

En la siguiente tabla, se describen los criterios cualitativos de rendimiento (ordenados de menor a mayor) de forma que se dividen en 5 grupos de robustez y predictibilidad.

Tabla A.4.1. Características de los sistemas de alarmas según su rendimiento.

Clase	Descripción
Sobrecargado	Frecuencia de alarmas muy alta. Gran disminución del rendimiento con pequeñas desviaciones. Difícil de usar en operación normal. Baja confianza del operador en el sistema. Alarmas de alta prioridad no distinguibles de las de baja. Pocas advertencias anticipadas sobre desviaciones. Muchas alarmas de poco valor. El operador suprime alarmas con frecuencia (representan una molestia) y la supresión no se maneja como corresponde.
Reactivo	Mejor que el sobrecargado, pero también presenta frecuencias de alarmas inmanejables. Distracción para el operador durante gran parte del tiempo. Más estable durante operación, pero inutilizable durante perturbaciones en la planta. La priorización no es fiable, pero es más útil. El sistema emite algunas advertencias anticipadas sobre perturbaciones. Siguen existiendo alarmas de poco valor. La supresión de alarmas sigue sin controlar.
Estable	Sistema bien definido para operación. pero menos útil en desviaciones. Presenta mejoras en frecuencias promedios y máximas. Los <i>bad actors</i> se resuelven, pero sigue habiendo problemas de avalanchas. Sistema útil en operación normal y con advertencias anticipadas de perturbaciones, pero no útil durante las propias perturbaciones. Los operadores tienen confianza en las prioridades de las alarmas. Todas las alarmas son significativas y tienen una respuesta definida. La supresión de alarmas está totalmente controlada.
Robusto	Frecuencias promedio y máxima de alarmas bajo control en la mayoría de situaciones. Buena previsión y advertencias anticipadas. Se usan técnicas dinámicas de alarmas basadas en el estado. El sistema es fiable en todos los modos de operación (perturbaciones incluidas). Los operadores tienen un alto nivel de confianza el sistema de alarmas y pueden responder ante todas.
Predictivo	Rendimiento superior en términos de valores promedio y máximo. Sistema estable en todo momento. El sistema suministra al operador la información correcta en el momento adecuado para evitar o minimizar perturbaciones. Las alarmas advierten con mucha antelación de potenciales anomalías (con el uso de algoritmos sofisticados y un buen análisis). Los mecanismos automáticos garantizan que el operador no pueda pasar por alto las alarmas.

### A.5. KPIs de los sistemas de alarmas

En la siguiente tabla se recopilan los criterios cuantitativos de un sistema de alarmas robusto y con buena funcionalidad, fácil de tratar por el operador y de analizar y mantener. Estos valores son alcanzables únicamente con la documentación y racionalización siguiendo las buenas prácticas de la filosofía de alarmas y la normativa 18.2.

Tabla A.5.1. Métricas de rendimiento de sistema de alarmas por posición de operador (KPIs).

Métrica	Valor objetivo	
Alarmas anunciadas	Valor aceptable	Valor máx. manejable
Alarmas anunciadas por día	≈150 alarmas	≈300 alarmas
Alarmas anunciadas por hora	≈6 (promedio)	≈12 (promedio)
Alarmas anunciadas cada 10 minutos	≈1 (promedio)	≈2 (promedio)
Métrica	Valor objetivo	
% de horas que contienen >30 alarmas		<1%
% de períodos de 10 min que contienen >5 alarmas		<1%
Nº máx. de alarmas en un período de 10 mín.		<10
% del tiempo en que el sistema se encuentra en estado de avalancha		<1%
% de contribución al total de las 10 alarmas más frecuentes	<1% a 5% como máximo, con planes de acción para las deficiencias	
Cantidad de alarmas intermitentes y transitorias	Ninguna, con planes de acción para corregir las que se produzcan	
Alarmas permanentes	<5, con planes de acción	
Distribución de prioridades anunciadas	≈80% LOW ≈15% HIGH ≈5% EMERGENCY	
Supresión de alarmas no autorizada	Ninguna alarma suprimida fuera de las metodologías controladas o aprobadas	
Cambio inadecuado de atributos de las alarmas	Ningún cambio de atributos fuera de las metodologías aprobadas o gestión del cambio	

A.6. Acciones de gestión de alarmas por parte de un operador

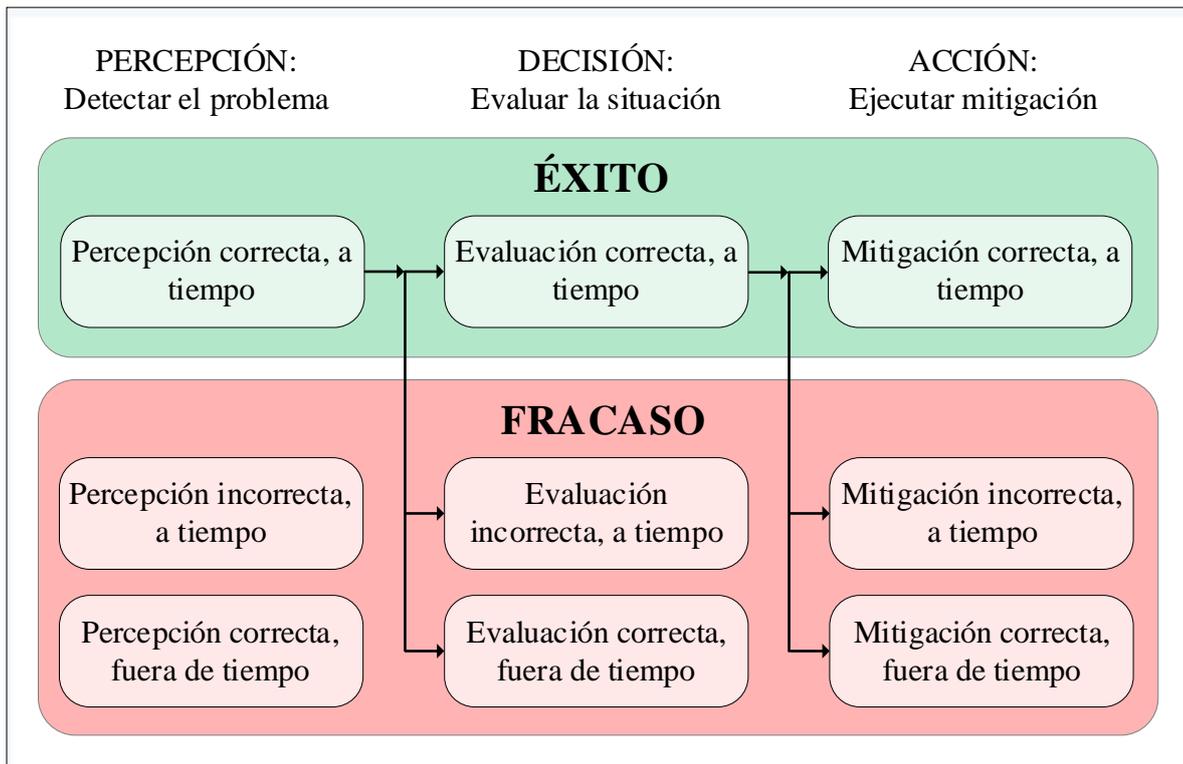


Figura A.6.1. Proceso de gestión de alarmas por parte de un operador.

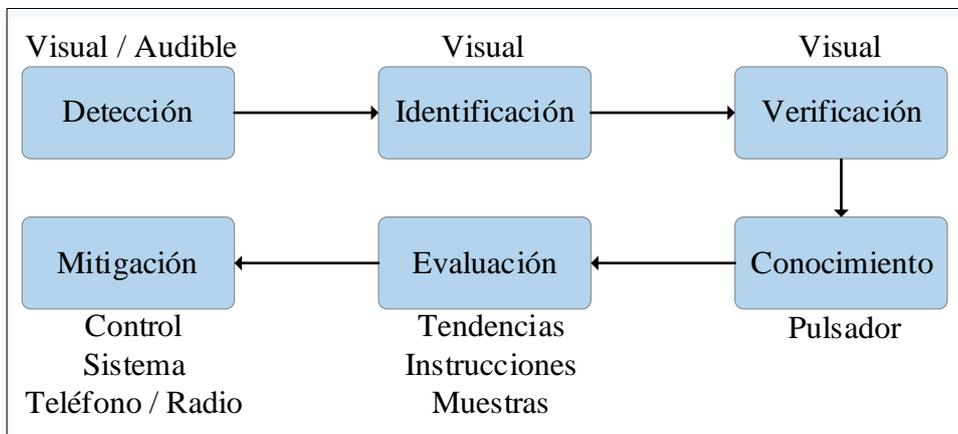


Figura A.6.2. Métodos de gestión de alarmas por parte de un operador.

### A.7. Puertas lógicas elementales

Las puertas lógicas son dispositivos electrónicos con funciones como sumar, restar, incluir o excluir variables según sus propiedades lógicas. Estas puertas pueden ser directas (AND, OR y XOR), negadas (NOT, NAND y NOR) o complejas, como las que usan una banda muerta, un *delay-time* o las que simplemente son una memoria. Las siguientes son las puertas lógicas más comunes (usadas en configuración de puntos y señales en sistemas de control).

- **AND:** Cada entrada (hasta 3) se puede definir como *reverse* (negada).

$$SO = (S1 = ON) \text{ AND } (S2 = ON) \text{ AND } (S3 = ON).$$

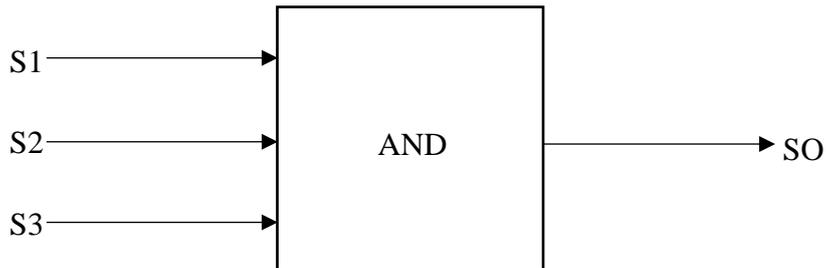


Figura A.7.1. Esquema de la puerta lógica AND.

- **OR:** Cada entrada (hasta tres) se puede definir como *reverse* (negada).

$$SO = (S1 = ON) \text{ OR } (S2 = ON) \text{ OR } (S3 = ON).$$

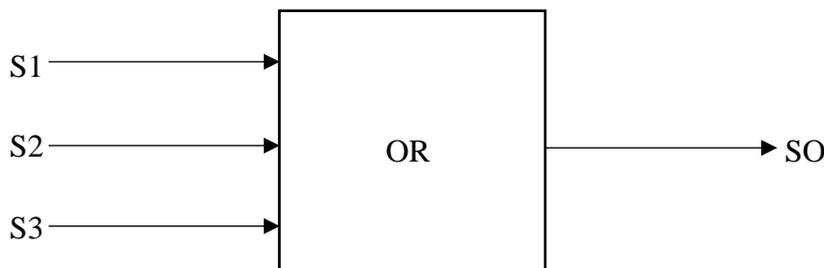


Figura A.7.2. Esquema de la puerta lógica OR.

- **NOT:** Inversión de una entrada lógica.

IF (S1 = ON) THEN SO = OFF  
ELSE SO = ON

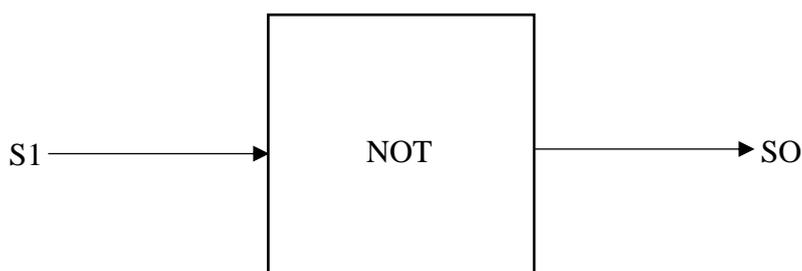


Figura A.7.3. Esquema de la puerta lógica NOT.

- **NAND:** Cada entrada puede invertirse.

$$SO = \text{NOT} ((S1 = \text{ON}) \text{ AND } (S2 = \text{ON}) \text{ AND } (S3 = \text{ON}))$$

$$SO = (S1 = \text{OFF}) \text{ OR } (S2 = \text{OFF}) \text{ OR } (S3 = \text{OFF})$$

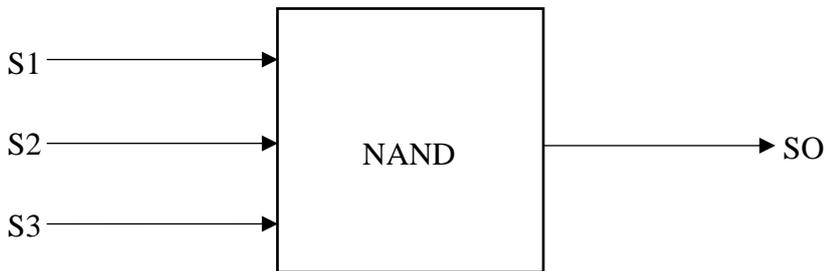


Figura A.7.4. Esquema de la puerta lógica NAND.

- **NOR:** Cada entrada puede invertirse.

$$SO = \text{NOT} ((S1 = \text{ON}) \text{ OR } (S2 = \text{ON}) \text{ OR } (S3 = \text{ON}))$$

$$SO = (S1 = \text{OFF}) \text{ AND } (S2 = \text{OFF}) \text{ AND } (S3 = \text{OFF})$$

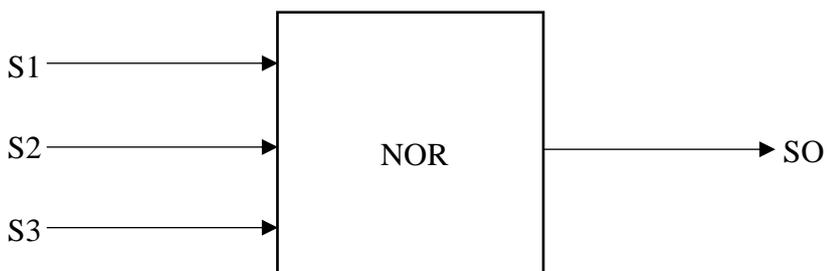


Figura A.7.5. Esquema de la puerta lógica NOR.

- **XOR:** Es una OR exclusiva de dos entradas.

$$SO = \text{NOT} (S1 = S2)$$

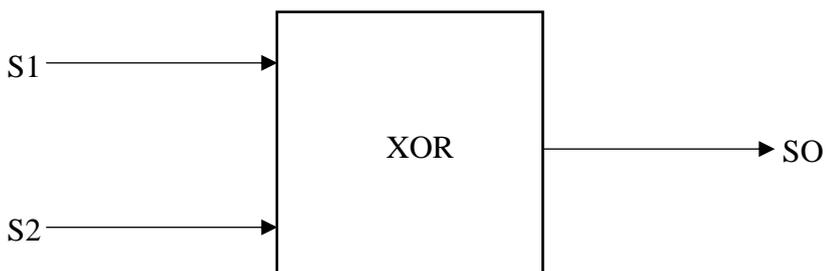


Figura A.7.6. Esquema de la puerta lógica XOR.

· **EQ** (*equal*): Compara que dos entradas reales sean iguales, dentro de la banda muerta que se le haya definido.

$$R1 = R2$$

Si R1 y/o R2 son NaN<sup>21</sup>, SO no cambiará.

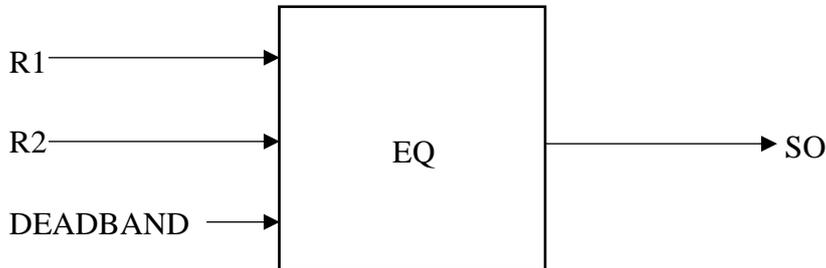


Figura A.7.7. Esquema de la puerta lógica EQ.

· **NE** (*not equal*): Compara que dos entradas reales NO sean iguales, dentro de la banda muerta que se le haya definido.

$$R1 \neq R2$$

Si R1 o R2 son NaN, SO no cambiará.

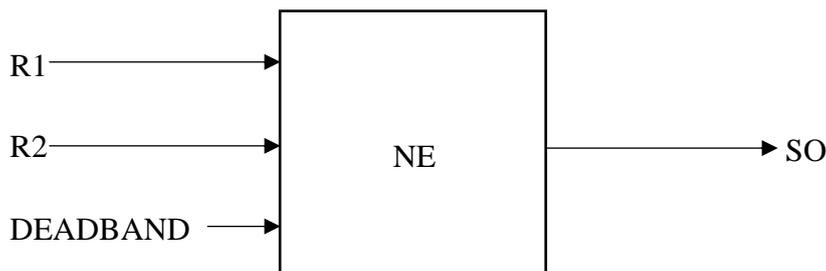


Figura A.7.8. Esquema de la puerta lógica NE.

· **GT** (*greater than*): Compara que de dos entradas reales la primera sea mayor que la segunda, dentro de la banda muerta que se le haya definido.

$$R1 > R2$$

Si R1 o R2 son NaN, SO no cambiará.

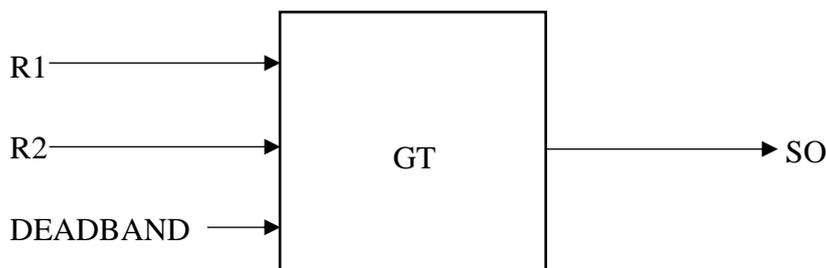


Figura A.7.9. Esquema de la puerta lógica GT.

<sup>21</sup> Fallo o error.

· **GE** (*greater or equal*): Compara que de dos entradas reales la primera sea mayor o igual que la segunda, dentro de la banda muerta que se le haya definido.

$$R1 \geq R2$$

Si R1 o R2 son NaN, SO no cambiará.

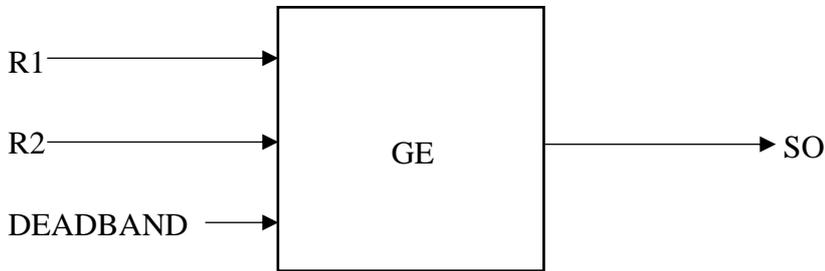


Figura A.7.10. Esquema de la puerta lógica GE.

· **LT** (*lower than*): Compara que de dos entradas reales la primera sea menor que la segunda, dentro de la banda muerta que se le haya definido.

$$R1 < R2$$

Si R1 o R2 son NaN, SO no cambiará.

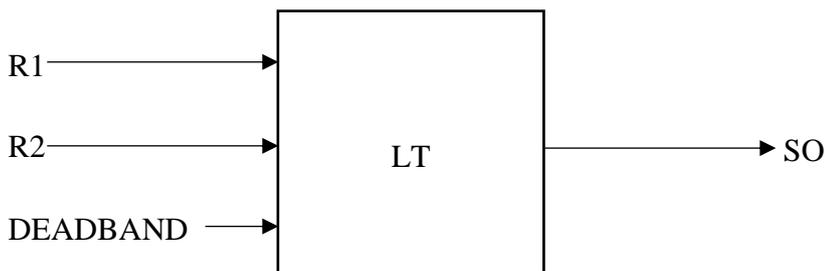


Figura A.7.11. Esquema de la puerta lógica LT.

· **LE** (*lower or equal*): Compara que de dos entradas reales la primera sea menor o igual que la segunda, dentro de la banda muerta que se le haya definido.

$$R1 \leq R2$$

Si R1 o R2 son NaN, SO no cambiará.

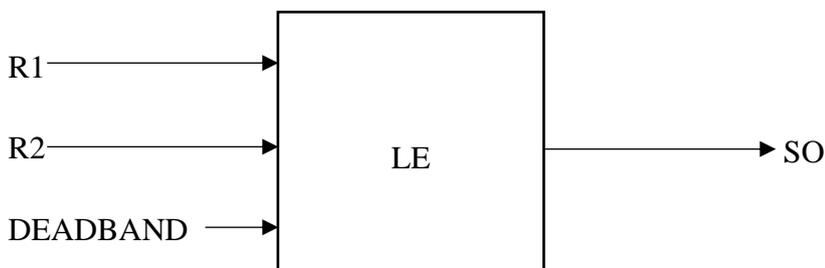


Figura A.7.12. Esquema de la puerta lógica LE.

· **PULSE**: Se genera un pulso siempre que S1 pase de OFF a ON. No se genera un pulso nuevo hasta haber finalizado el anterior.

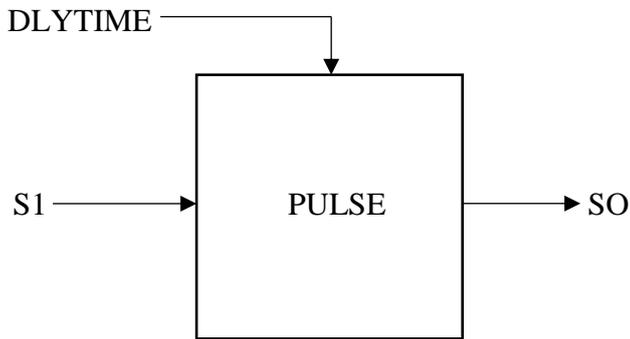


Figura A.7.13. Esquema de la puerta lógica PULSE.

· **FLIPFLOP**: Es una memoria de entradas lógicas.

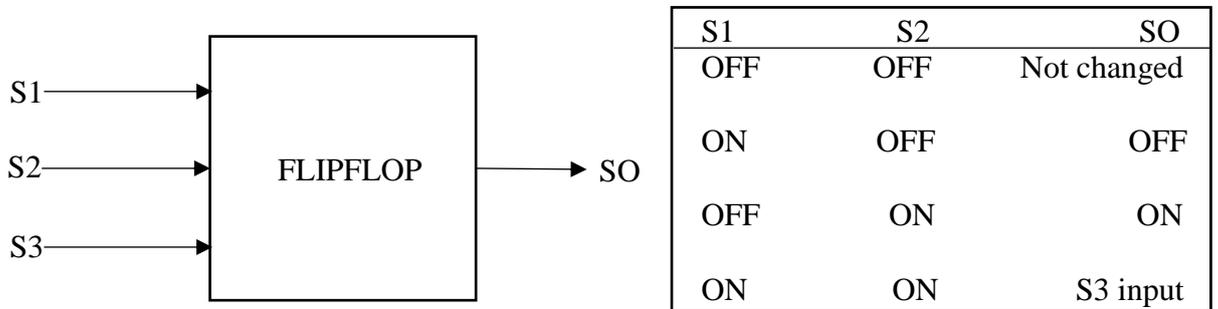


Figura A.7.14. Esquema y tabla de *inputs* y *outputs* de la puerta lógica FLIPFLOP.

## A.8. Programa de arranque y parada automáticos

### A.8.1. Programa de arranque automático

El programa de arranque cuenta con 3 bloques: las comprobaciones preliminares, las condiciones a fijar antes del arranque, y el arranque en sí, compuesto por dos fases.

Las comprobaciones preliminares son chequeos de todos los equipos, como por ejemplo la confirmación de que la planta no se encuentra en marcha, que los equipos de selección manual estén en la orden correcta, que las proporciones de la receta están bien asignadas, que las válvulas de alimentación al reactor siguen cerradas...

El siguiente paso consiste en dejar la planta lista para la orden de arranque, fijando todos los SP de operación, comprobar que el sistema de refrigeración opera correctamente, que todos los enclavamientos están a disposición de disparar en caso de fallo de arranque, la fijación de los controladores (en manual o automático, el SP de operación, las constantes de control...). Finalmente, el programa espera la confirmación por parte del operador y se da paso al arranque.

La apertura de las válvulas de alimentación de etileno al reactor es el suceso clave que separa las dos fases de arranque. La fase 1 engloba el alcance de todos los SP necesarios para que, una vez entre el etileno, la planta no se detenga. Eso incluye el suministro de presión y temperatura, dejando todos los compresores operativos.

La fase 2 abre las válvulas de etileno gas y comprueba su apertura. Una vez abiertas, el programa regula los controladores de presión. Cuando el reactor se encuentra en estado estable, se abren las alimentaciones de catalizador, con el seguimiento del gradiente de temperatura para comprobar que está subiendo y la reacción está teniendo lugar de forma normal.

Finalmente, se procede a resetear los temporizadores de arranque, cerrar los posibles *by-passes* usados, se comprueba por última vez que el perfil de temperaturas del reactor es normal, y en caso afirmativo se incrementa en 1 el contador de arranques exitosos, se activan los programas de paro de emergencia y se da por terminado el arranque automático.

### A.8.2. Programas de paradas automáticas

El uso del término parada de emergencia es muy común, pero también antiguo. La distinción entre una parada provocada por un operador y una parada de emergencia no tiene sentido cuando se parte de la premisa de que todas las paradas son automáticas.

Existen diferentes tipos de parada automática según la causa-efecto que la desencadenan y según su ejecución en HPM o en SM y una secuencia ligeramente distinta para cada tipo, pero todas llevan a la planta a un estado seguro empezando por la siguiente secuencia común que consiste en el paro de los dos equipos clave: las bombas de catálisis el compresor secundario. El rearme de las bombas también es automático y común al final de todos los tipos de parada.

La diferencia entre los pasos intermedios no es sustancial entre los diferentes tipos, la variación está en el orden en que el programa los realiza, dependiendo de qué equipo es el que se ha detenido y ha provocado toda la secuencia. Estos pasos incluyen dejar las válvulas en su posición de fallo, parar los compresores primario y auxiliar, abrir los *by-passes* necesarios y cambiar los SP a los fijados en caso de paro.

### A.9. Ejemplo de dinámica de supresión de alarmas

En este ejemplo, parte de la formación de habilidades en TDC-3000, *Experion* y DAS, se configura el estado de actividad o supresión de las alarmas de baja velocidad, temperatura y presión del extrusor de aditivos (M/B) con la doble condición de marcha/paro del equipo y la velocidad mínima.

#### A.9.1. Lógica en AM

Se empieza configurando la velocidad mínima usando el TAG de la velocidad y un numérico (NN). Usando una lógica LE (*less or equal*), de forma que la salida de la primera puerta (SO1) sea ON cuando y solo cuando esa velocidad sea inferior a la definida en el numérico.

La segunda puerta lógica es una FLIPFLOP que se usará de puerta intermedia, cuyas entradas son las dos condiciones y una tercera configurada en OFF. La primera entrada es la confirmación de la marcha del extrusor, cuyo estado normal es MARCHA, de forma que si el estado anormal (OFFNORM) está en ON y la velocidad es inferior a la estipulada anteriormente (SO1 = ON), la tercera entrada será el input (OFF). Así pues, la salida de esta puerta en caso de parada del equipo, SO2, será OFF.

La tercera puerta lógica es otra FLIPFLOP cuya primera entrada será la SO2 de la lógica anterior, la segunda entrada será la marcha del equipo (equipo parado = ON) y la tercera será una entrada configurada en ON. De esta forma, combinando la salida intermedia (OFF) con la parada del equipo (ON), la salida SO3 será ON. Esta salida por defecto está asociada al estado activo de las alarmas, así que se corrige reconfigurando el gráfico.

Finalmente, se corrige el gráfico para que indique correctamente el estado de alarmas activas o suprimidas en función del *trigger* configurado (añadiendo también un mensaje que aclare que esta configuración es por motivos de la dinámica), para que el sistema interprete su disparo (1) como la INACTIVACIÓN de las alarmas.

#### A.9.2. Implementación en DAS

La configuración en DAS se hace desde la propia aplicación, método que es mucho más sencillo de implementar.

Siguiendo los pasos descritos en el punto 7.2. se crea una *alarm suppression group* desde el propio *Experion* y se define *trigger* (punto que contiene la lógica) y las alarmas a silenciar como *targets*. La configuración en DAS permite silenciar el propio *trigger* con la rapidez suficiente para no ser visible (ya que se trata solo de un punto creado para contener la lógica), así que dicho punto es *trigger* y *target* a la vez.

A.10. Toma de muestras de las alarmasA.10.1. Influencia de los modos de operación sobre el número de alarmas

Tabla A.10.1. Alarmas durante paradas antes de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Muestra6	Promedio
Duración (min)	18	18	16	18	18	17	17,5
Alarmas totales	172	296	268	174	195	199	217,3
Alarmas 10 min	95,5	164	168	96,7	108	117	124,9

Tabla A.10.2. Alarmas durante paradas después de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Promedio
Duración (min)	17	17	18	18	17	17,4
Alarmas disparadas	58	61	48	51	23	48,6
Alarmas 10 min disp.	34,1	23,9	26,7	28,3	13,5	25,3
Alarmas silenciadas	100	105	101	100	78	96,8
Alarmas 10 min sil.	58,8	61,8	56,1	55,6	45,9	55,6

Tabla A.10.3. Alarmas durante arranques antes de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Muestra6	Promedio
Duración (min)	23	14	33	21	33	22	24,3
Alarmas totales	168	150	272	199	156	187	188,7
Alarmas 10 min	73,0	107	82,4	94,8	47,2	85,0	81,6

Tabla A.10.4. Alarmas durante arranques después de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Promedio
Duración (min)	18	28	22	21	19	21,6
Alarmas disparadas	43	61	35	26	34	39,8
Alarmas 10 min disp.	23,9	21,8	15,9	12,4	17,9	18,4
Alarmas silenciadas	28	42	35	55	55	43
Alarmas 10 min sil.	15,6	15,0	15,9	26,2	28,9	20,3

Tabla A.10.5. Alarmas de la planta en estado estacionario de paro antes de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Muestra6	Promedio
Duración (min)	30	60	30	30	60	60	45
Alarmas totales	61	48	73	18	89	37	54,3
Alarmas 10 min	20,3	8,00	24,3	6,00	14,8	6,20	13,3

Tabla A.10.6. Alarmas de la planta en estado estacionario de paro después de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Promedio
Duración (min)	100	100	100	100	100	100
Alarmas disparadas	37	44	24	7	21	26,6
Alarmas 10 min disp.	3,7	4,4	2,4	0,7	2,1	2,7
Alarmas silenciadas	17	50	22	28	24	28,2
Alarmas 10 min sil.	1,7	5,0	2,2	2,8	2,4	2,8

Tabla A.10.7. Alarmas durante operación antes de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Muestra6	Promedio
Duración (min)	30	60	60	60	60	60	55
Alarmas totales	16	35	17	14	7	7	16
Alarmas 10 min	5,3	5,8	2,8	2,3	1,2	1,2	3,1

Tabla A.10.8. Media mensual de alarmas cada 10 minutos antes de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Muestra6	Promedio
Alarmas 10 min	5,99	8,26	6,73	8,32	7,87	7,94	7,52

Tabla A.10.9. Media quincenal de alarmas cada 10 minutos después de las dinámicas.

Variable	Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	Muestra5	Promedio
Alarmas 10 min	3,67	2,63	1,87	2,44	1,59	2,44

A.10.2. Influencia de las dinámicas sobre el modo de operación

Tabla A.10.10. Alarmas durante paradas antes de las dinámicas.

Dinámica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
DIN-2	17	20	8	12	26	16,6
DIN-3	3	3	3	3	3	3
DIN-4	4	4	4	4	4	4
DIN-5	6	5	9	9	6	7
DIN-6	10	10	16	6	15	11,4
DIN G1	20	21	24	16	19	20
DIN G2	34	29	35	20	21	27,8
DIN G3	22	20	23	41	32	27,6
DIN G4	3	3	2	14	3	5

Tabla A.10.11. Alarmas silenciadas (y disparadas) durante paradas después de las dinámicas.

Dinámica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
DIN-2	8 (0)	3 (0)	8 (2)	14 (0)	12 (0)	9 (0,4)
DIN-3	3 (0)	3 (0)	3 (0)	3 (0)	3 (0)	3 (0)
DIN-4	4 (0)	4 (0)	4 (0)	4 (0)	4 (0)	4 (0)
DIN-5	8 (0)	1 (0)	4 (1)	4 (0)	7 (0)	4,8 (0,2)
DIN-6	20 (0)	17 (0)	16 (0)	13 (0)	10 (0)	15,2 (0)
DIN G1	8 (0)	19 (3)	19 (0)	16 (0)	4 (0)	13,2 (0,6)
DIN G2	36 (0)	49 (0)	33 (0)	32 (0)	23 (0)	34,6 (0)
DIN G3	17 (0)	23 (0)	19 (0)	18 (0)	19 (0)	19,2 (0)
DIN G4	3 (0)	2 (0)	2 (0)	3 (0)	3 (0)	2,6 (0)

Tabla A.10.12. Alarmas durante arranques antes de las dinámicas.

Dinámica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
DIN-2	8	7	7	21	9	10,4
DIN-3	0	0	0	0	0	0
DIN-4	0	0	0	0	0	0
DIN-5	0	5	0	0	4	1,8
DIN-6	4	15	13	7	26	13
DIN G1	14	14	109	10	32	35,8
DIN G2	9	19	48	19	38	26,6
DIN G3	28	17	25	20	13	20,6
DIN G4	0	0	0	0	0	0

Tabla A.10.13. Alarmas silenciadas (y disparadas) durante arranques después de las dinámicas.

Dinámica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Promedio
DIN-2	3 (0)	2 (0)	1 (0)	0 (3)	1 (0)	1,4 (0,6)
DIN-3	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DIN-4	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
DIN-5	0 (1)	2 (0)	0 (0)	0 (1)	0 (0)	0,4 (0,4)
DIN-6	3 (0)	15 (0)	1 (0)	4 (0)	0 (0)	4,6 (0)
DIN G1	4 (1)	6 (3)	5 (0)	18 (0)	16 (0)	9,8 (0,8)
DIN G2	10 (1)	5 (0)	11 (0)	18 (0)	26 (0)	14 (0,2)
DIN G3	11 (0)	12 (0)	13 (0)	15 (0)	12 (0)	12,6 (0)
DIN G4	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

A.11. Leyenda de tablas y figuras

Tabla A.11.1. (I) Leyenda de tablas.

Tabla	Título
2.1	Distribución temporal inicial y real de las tareas realizadas
3.1	Detalles del ciclo de vida según ISA 18.2
3.2	Matriz de prioridades de alarma
3.3	¿Qué se considera una acción por parte del panelista?
3.4	Propiedades y simbología de señales y alarmas
3.5	Puntos de consigna para <i>On-Delay</i> y <i>Off-Delay</i>
3.6	Puntos de consigna para las bandas muertas (basado en rango de operación)
3.7	Organización de los niveles de jerarquía en un <i>HMI display</i>
3.8	Comparación del calor de polimerización entre monómeros
3.9	Características y esquema de la reacción
3.10	Propiedades del PEBD como producto final
5.1	Leyenda de las resoluciones de modificación de alarmas
5.2	Propuesta de dinámica: paro y rearme del compresor primario y auxiliar
5.3	Propuesta de dinámica: presiones del compresor primario
5.4	Propuesta de dinámica: temperaturas del compresor primario
5.5	Propuesta de dinámica: paros y altas temperaturas del compresor primario
5.6	Propuesta de dinámica: bombas de lubricación del compresor primario
5.7	Propuesta de dinámica: alarmas del compresor auxiliar
5.8	Propuesta de dinámica: parada del compresor secundario
5.9	Propuesta de dinámica: presión en impulsión del compresor secundario
5.10	Propuesta de dinámica: temperatura en impulsión del compresor secundario
5.11	Propuesta de dinámica: temperaturas de aspiración del compresor secundario
5.12	Propuesta de dinámica: válvulas de apertura y cierre del compresor secundario
5.13	Propuesta de dinámica: vibraciones de la carcasa del compresor secundario
5.14	Propuesta de dinámica: bombas de lubricación del compresor secundario
5.15	Propuesta de dinámica: bombas de alimentación al reactor
5.16	Propuesta de dinámica: agitador del reactor
5.17	Propuesta de dinámica: alta intensidades y fallo a tierra del agitador del reactor
5.18	Propuesta de dinámica: presión del reactor
5.19	Propuesta de dinámica: temperaturas zona catálisis del reactor
5.20	Propuesta de dinámica: temperaturas del reactor
5.21	Propuesta de dinámica: temperaturas del reactor
5.22	Propuesta de dinámica: alarmas asociadas al paro del extrusor principal
5.23	Propuesta de dinámica: alarmas descartadas de la dinámica del extrusor principal
5.24	Propuesta de dinámica: alarmas asociadas al silo del extrusor principal
5.25	Propuesta de dinámica: desencadenantes de paro y rearme de la cortadora
5.26	Propuesta de dinámica: alarmas asociadas al paro de la cortadora
5.27	Propuesta de dinámica: separador
5.28	Propuesta de dinámica: interrupciones del arranque como detonantes
5.29	Resumen de las dinámicas configuradas
6.1	Contribución de alarmas mensuales más frecuentes al total después de medio año de tratamiento de <i>Bad Actors</i>
6.2	Discrepancias entre alarmas o señales fuera del alcance de las dinámicas

Continúa

Tabla A.11.1. (II) Leyenda de tablas.

Tabla	Título
8.1	Reducción de alarmas durante la parada de emergencia de la planta
8.2	Reducción de alarmas durante la puesta en marcha de la planta
8.3	Alarmas según modo de operación antes de las dinámicas
8.4	Alarmas según modo de operación después de las dinámicas y reducción
8.5	Media quincenal de alarmas cada 10 minutos antes y después de las dinámicas
8.6	Evaluación cualitativa del efecto de las dinámicas por parte de panelistas
A.1.1	Propiedades físicas y químicas del etileno
A.1.2	Propiedades físicas y químicas del PEBD REPSOL ALCUDIA 2520F
A.2.1	Diagrama de <i>Gantt</i> del proyecto
A.3.1	Criterios de asignación de la gravedad de las consecuencias
A.3.2	Criterios de asignación de tiempo de respuesta por parte del operador
A.4.1	Características de los sistemas de alarmas según su rendimiento
A.5.1	Métricas de rendimiento de sistema de alarmas por posición de operador (KPIs)
A.6.1	Proceso de gestión de alarmas por parte de un operador
A.6.2	Métodos de gestión de alarmas por parte de un operador
A.10.1	Alarmas durante paradas antes de las dinámicas
A.10.2	Alarmas durante paradas después de las dinámicas
A.10.3	Alarmas durante arranques antes de las dinámicas
A.10.4	Alarmas durante arranques después de las dinámicas
A.10.5	Alarmas de la planta en estado estacionario de paro antes de las dinámicas
A.10.6	Alarmas de la planta en estado estacionario de paro después de las dinámicas
A.10.7	Alarmas durante operación antes de las dinámicas
A.10.8	Media mensual de alarmas cada 10 minutos antes de las dinámicas
A.10.9	Media quincenal de alarmas cada 10 minutos después de las dinámicas
A.10.10	Alarmas durante paradas antes de las dinámicas
A.10.11	Alarmas silenciadas (y disparadas) durante paradas después de las dinámicas
A.10.12	Alarmas durante arranques antes de las dinámicas
A.10.13	Alarmas silenciadas (y disparadas) durante arranques después de las dinámicas

Tabla A.11.2. (I) Leyenda de figuras.

Figura	Título
3.1	Pantalla principal del menú del sistema de control actual
3.2	Esquema del sistema de control vigente en la planta
3.3	Ciclo de vida según ISA 18.2
3.4	Valores de alarmas de una planta no racionalizada
3.5	Valores de alarmas de una planta racionalizada
3.6	Representación de la función <i>On-delay</i>
3.7	Representación de la función <i>Off-delay</i>
3.8	Representación de la función <i>Deadband</i>
3.9	Activación del estado de supresión de alarmas (SUPP) asociadas al compresor primario con el paro del equipo en (visualizado en GesTDC)
3.10	Estado de supresión de alarmas en DAS
3.11	Menú de alarmas suprimidas de una dinámica en estado de supresión en DAS
3.12	Listado de <i>triggers</i> y <i>targets</i> en una dinámica en la aplicación DAS
3.13	Indicadores mensuales de un sistema de alarmas
3.14	Pantalla de parámetros de estudio de eventos en GesTDC
3.15	Clasificación de estados normal, anormal y emergencia según el ASM
3.16	Gráficos de proceso en el primer HMI
3.17	Gráfico de proceso con la nueva implementación del HMI
3.18	Diferentes gráficos en HMI para representar desviaciones de caudal
4.1	Porcentaje de causas de parada del año 2020
4.2	Alarmas anunciadas cada 10 minutos según modo de operación respecto media anual de la planta
4.3	Tendencia de presión del reactor y marcha del agitador
4.4	Comportamiento de la presión y del agitador en una parada y arranque
4.5	Ponderación de alarmas por equipos en una parada programada
7.1	Ejemplo de una dinámica en un archivo .CL para programación en AM
7.2	Propiedades de una dinámica configurada en DAS
7.3	Señal usada como <i>trigger</i> de una dinámica en estado de supresión y no-supresión de alarmas
7.4	Programa en .CL activando el <i>trigger</i> en vez de silenciar las alarmas directamente
7.5	Menú de visualización de <i>triggers</i> y <i>targets</i> en DAS
7.6	Menú de dinámicas y estado de supresión o no-supresión en DAS
7.7	Estado de supresión y no-supresión de alarmas dinámicas con indicación de texto en la estación nativa
7.8	Estado de supresión (abajo) y no-supresión (arriba) de alarmas dinámicas en <i>Experion</i>
8.1	Alarmas de presión del reactor acumuladas en una parada antes de la dinámica
8.2	Alarmas de presión del reactor acumuladas en un arranque después de la dinámica
8.3	Media de disparos silenciados respecto el total de alarmas después de las dinámicas
8.4	Alarmas en 10 minutos antes y después de la implementación de dinámicas
8.5	Tiempo de respuesta por parte del operador (cambio de <i>set-point</i> del caudal de alimentación) ante una avalancha de alarmas

Continúa

Tabla A.11.2. (II) Leyenda de figuras.

Figura	Título
A.7.1	Esquema de la puerta lógica AND
A.7.2	Esquema de la puerta lógica OR
A.7.3	Esquema de la puerta lógica NOT
A.7.4	Esquema de la puerta lógica NAND
A.7.5	Esquema de la puerta lógica NOR
A.7.6	Esquema de la puerta lógica XOR
A.7.7	Esquema de la puerta lógica EQ
A.7.8	Esquema de la puerta lógica NE
A.7.9	Esquema de la puerta lógica GT
A.7.10	Esquema de la puerta lógica GE
A.7.11	Esquema de la puerta lógica LT
A.7.12	Esquema de la puerta lógica LE
A.7.13	Esquema de la puerta lógica PULSE
A.7.14	Esquema de la puerta lógica FLIPFLOP

