

CEA-IFAC

Sistemas de Supervisión

Introducción a la monitorización
y supervisión experta de
procesos.
Métodos y herramientas.

Joan Colomer

Joaquim Meléndez

Jordi Ayza

Prólogo

Las nuevas exigencias de calidad y reducción de costes ha llevado a la informatización de las industrias actuales. Los procesos son más accesibles y su seguimiento es posible mediante los llamados sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) o software de monitorización y control que permiten el registro de datos del proceso y la interacción de una forma cómoda a través interfaces gráficos.

Estos sistemas SCADA han substituido las salas de control por ordenadores o terminales de control, y los sinópticos por pantallas animadas. Hasta el momento se ha cambiado la presentación y modo de almacenado de la información, pero no su uso. Continua siendo el operador de la sala de control quien decide sobre la evolución del proceso a la vista de los datos visualizados, la diferencia básica estriba en el incremento de información que ahora recibe. Frente a este incremento de información, cambiante y dinámica, el operador de control necesita de nuevas ayudas a su tarea de vigilancia y supervisión del proceso.

La supervisión experta de procesos se entiende como este soporte a la sistematización en el seguimiento de los mismos; automatizando, en la medida que sea posible, tareas como son el análisis de datos, detección de fallos, diagnóstico de los mismos, toma de decisiones o proponer acciones concretas haciendo uso, para ello, de toda información disponible.

Los capítulos que conforman esta monografía se organizan con el objetivo de poner en claro cuales son (o deben ser) los objetivos de un sistema de supervisión, así como la metodología y las herramientas necesarias, o simplemente útiles, para satisfacer estos objetivos. No se ha pretendido realizar un estudio exhaustivo ni presentar un estado del arte del tema, sino únicamente exponer de forma clara las principales tareas relacionadas con la supervisión de procesos y describir las herramientas mas populares para llevar a cabo estas tareas.

Por todo ello esta monografía está especialmente dirigida a aquellos lectores que, sin ser especialistas en control o supervisión de procesos,

son usuarios o demandantes de sistemas de supervisión o simplemente están interesados en los temas aquí comentados.

En el primer capítulo se introduce la supervisión de procesos como una necesidad en la industria actual, se distinguen las principales tareas de un sistema de supervisión y se define la terminología más comúnmente empleada.

Los cuatro siguientes capítulos ofrecen una descripción de las diversas fases o etapas de la supervisión experta (monitorización, detección, diagnóstico y decisión). En esta descripción se mencionan tanto aquellas herramientas que se utilizan en la actualidad (capítulo 3) como aquellas tecnologías emergentes que incidirán en los próximos años en la producción de las líneas actuales.

En el capítulo 6 se presentan las tendencias actuales en el campo de la supervisión, tanto a nivel tecnológico como a nivel científico. También se presenta un listado de aquellos centros que, en el contexto de CEA-IFAC, investigan de forma activa en el campo de la supervisión de procesos. El capítulo final, dedicado a la bibliografía, establece una relación de referencias que aparecen en texto y otras que pueden ser de utilidad al lector que quiera profundizar en el tema.

Finalmente, los autores quieren, desde este último párrafo, agradecer el esfuerzo de aquellas personas que han contribuido a que esta monografía salga adelante. Queremos dar las gracias a la directiva de CEA-IFAC y en particular a Pedro Albertos, por la iniciativa y el empeño en la creación y publicación de estos textos monográficos, y Josep Lluís de la Rosa, por su incondicional soporte y aporte constante de entusiasmo. Nuestro reconocimiento a los profesores visitantes en la Universitat de Girona, el Dr. Antoni Ligeza (University of Mining and Metallurgy, Polonia) y Dr. Peter Bickfalvi (University of Miskolc, Hungría), quienes han contribuido especialmente en la elaboración del capítulo 5 enriqueciendo el contenido de este texto con sus valiosas aportaciones. Agradecemos, también el esfuerzo de todos aquellos colaboradores que han dedicado su tiempo a la revisión del texto aportando sus comentarios.

Los autores.

Tabla de contenidos

CAPITULO 1: Introducción a la Supervisión	1
Introducción	1
Supervisión: concepto y beneficios	2
De la automatización a la supervisión	3
Modelo y conocimiento	4
Beneficios de la Supervisión	4
Supervisión y monitorización	5
Etapas en la supervisión: Detección, Diagnóstico de fallos, Reconfiguración.	5
Supervisión experta	7
La supervisión en la industria actual: SCADAs	7
Terminología	9
Relativo al estado del proceso	9
Relativo a las señales	9
Relativo a las tareas de supervisión	10
CAPITULO 2: Monitorización	11
Introducción	11
Adquisición y registro de datos	12
Dispositivos para la adquisición de datos	13
Registro de los datos	16
Representación del proceso	17
Creación de sinópticos	18
Alarmas: Situaciones anómalas	21
Tipos de alarmas	21
Gestión y registro de alarmas	23
Gráficas y Tendencias	24
Históricos y Bases de datos	25

CAPITULO 3: SCADAs comerciales	27
Introducción	27
Estructura Interna de una aplicación SCADA comercial	27
Tecnología de Sistemas Abiertos	30
Integración con otras aplicaciones	30
COM / DCOM	31
ActiveX	31
OPC	32
Conectividad remota a través de Internet	32
Arquitectura y Soluciones	33
Desarrollo de una aplicación SCADA	34
Paquetes comercializados en España	35
CAPITULO 4: Detección de fallos	39
Introducción	39
Sistemas SCADA y Detección de fallos	40
Métodos estadísticos de detección: SPC/SQC	40
Detección basada en métodos analíticos	42
Detección basada en señales	42
Detección basada en modelos analíticos	43
Detección basada en conocimiento	45
Detección basada en síntomas	45
Detección basada en modelos cualitativos	46
Detección y Diagnóstico	47
CAPITULO 5: Diagnóstico y Decisión	49
Introducción	49
Diagnóstico de fallos	50
Conocimiento del Proceso y relaciones causa - efecto	50
Métodos estadísticos	51
Herramientas de soporte: la Inteligencia Artificial	52
Representación de conocimiento mediante lógica	53

Listas, tablas y árboles de decisión _____	54
Grafos y grafos causales _____	55
Imprecisión. Representación del conocimiento mediante lógica difusa. _____	57
Sistemas expertos _____	59
Aprendizaje. Redes Neuronales _____	62
Razonamiento basado en casos _____	64
Reconfiguración y Soporte al usuario _____	65
CAPITULO 6: Tendencias actuales _____	67
Introducción _____	67
Tendencias en la oferta actual _____	67
Sistema Operativo _____	68
Lenguaje de Programación _____	68
Tecnología OPC _____	69
Otras _____	69
Tendencias en la demanda _____	71
Limitaciones de los sistemas actuales _____	72
Investigación en Supervisión _____	73
CAPITULO 7: Bibliografía _____	75
Introducción _____	75
Automatización y Monitorización industrial actual _____	76
Sistemas de Supervisión _____	76
Inteligencia artificial: Decisión y diagnóstico en la industria _____	76

Índice de Ilustraciones

• Fig. 1-1 Monitorización y supervisión.....	2
• Fig. 1-2 Etapas básicas en supervisión.....	6
• Fig. 2-1 Autómata S5 de Siemens y Regulador autónomo JUMO.....	14
• Fig. 2-2 Interconectividad y comunicación industrial.....	15
• Fig. 2-3 Muestreo de una señal analógica. Ts: periodo de muestreo.....	16
• Fig. 2-4 Tags: Definición de variables de proceso en CITECT.....	17
• Fig. 2-5 Representación de procesos instrumentados según ISA.....	19
• Fig. 2-6 Representación de un reactor mediante iconografía InTouch..	20
• Fig. 2-7 Proceso real de laboratorio y pantalla en LabWindows/CVI... 20	
• Fig. 2-8 Alarma por superación de umbral absoluto (❶) y relativo (❷) 22	
• Fig. 2-9 Activación de alarma por velocidad de cambio (ROC).	23
• Fig. 2-10 Integración mediante SQL. Cortesía de InTouch.	26
• Fig. 2-11 Posible estructura de una base datos para supervisión.	26
• Fig. 3-1 Estructura de un sistema SCADA.....	28
• Fig. 3-2 HMI desarrollado en CITECT.....	29
• Fig. 3-3 Modelo de Información en Planta.....	30
• Fig. 3-4 Clientes y servidores OPC.	32
• Fig. 3-6 Supervisión y control de proceso Batch. Rockwell Software. ...	36
• Fig. 4-1 Gráfico de Control (LabWindows SPC Toolkit).....	41
• Fig. 4-2 Detección basada en modelos analíticos.	43
• Fig. 4-3 Utilización de observadores para la generación de residuos... 44	
• Fig. 4-4 Estimación de parámetros.	44
• Fig. 4-5 Representación simbólica mediante episodios.....	46
• Fig. 5-1 Diagramas fishbone causa-efecto.....	51
• Fig. 5-2 Diagrama de Pareto (LabWindows SPC Toolkit).	52
• Fig. 5-3 Árbol de decisión binario simple.	54
• Fig. 5-4 Arbol de fallos para diagnóstico extraído de [20].....	56
• Fig. 5-5 Grafo dirigido simple.	57
• Fig. 5-6 Una posible representación difusa de la Temperatura.	58
• Fig. 5-7 Operaciones básicas con conjuntos difusos.....	59
• Fig. 5-8 Sistema Experto.	60
• Fig. 5-9 Base de reglas.....	60

- *Fig. 5-10 Motor de inferencia.....* 61
- *Fig. 5-11 Neurona Artificial.* 63
- *Fig. 5-13 Capas en una red neuronal.* 63
- *Fig. 5-14 Ciclo básico en CBR.* 64
- *Fig. 6-1 Pocket GENESIS_{TM}.....* 70
- *Fig. 6-2 Estandarización de equipos y medios en la pirámide CIM.....* 71

Índice de Tablas

- *Tabla 2-1 Significado habitual de colores en ambientes tecnológicos..* 18
- *Tabla 2-2 Extracto de las siglas utilizadas en la nomenclatura ISA.* 19
- *Tabla 3-1 SCADAs comercializados en España.....* 38
- *Tabla 5-1 Conectivas lógicas* 53
- *Tabla 5-1 Tabla de decisión* 55

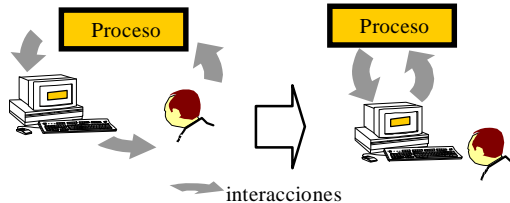
Introducción a la Supervisión

Introducción

Las exigencias que actualmente se imponen a los procesos productivos en cuestión de rendimiento, calidad y flexibilidad hacen necesario introducir las nuevas tecnologías en el control y vigilancia de éstos. Con este propósito, nace la idea de supervisar los procesos. La incorporación de nuevas tecnologías en la industria permite la reducción del número de paradas innecesarias, la predicción de situaciones anómalas o la actuación rápida y eficaz de forma que se asegure la continuidad y uniformidad de la producción. Así, la supervisión de procesos se establece como forma de automatizar tareas como las descritas en las guías de aseguramiento de la calidad y/o en los planes de mantenimiento preventivo con el fin de eliminar o reducir situaciones indeseadas.

La centralización y registro de datos es el primer paso en la implantación de un sistema de supervisión, y su simplicidad reside en la conectividad que ofrecen los actuales sistemas de control. Son los llamados sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) o software de monitorización y control que permiten el acceso a datos del proceso y cierta interacción entre el operario (interfaces gráficos y animados) y el proceso (adquisición de datos a través de dispositivos de campo). Estos sistemas SCADA han substituido las salas de control por ordenadores o terminales de control, y los bellos pero estáticos y voluminosos sinópticos por pantallas configurables y animadas. Se conservan las representaciones gráficas substituyendo el papel por representaciones en pantalla de datos almacenados en los discos duros. El

objetivo es uno: facilitar la tarea del operario encargado de la vigilancia del proceso y su seguimiento. La incorporación de dichos sistemas conlleva que el número de medidas del proceso registradas aumente considerablemente y el operario deba hacerse cargo de su seguimiento. Por tanto el nuevo reto es dar mayor autonomía a estos sistemas de supervisión (Fig. 1-1).



• Fig. 1-1 Monitorización y supervisión.

El objetivo de este primer capítulo es el de introducir la idea de la supervisión de procesos desde la perspectiva de aprovechamiento de la información. Para ello se va a incidir en el conocimiento disponible del proceso y los beneficios de ordenar la utilización de este conocimiento. Con este propósito se introduce el concepto de modelo como forma de representación del conocimiento sobre el comportamiento del proceso y el término supervisión experta como el aprovechamiento del conocimiento en las tareas de supervisión. Se apuntan los beneficios de la supervisión y se introduce la terminología relacionada con dicha disciplina.

Supervisión: concepto y beneficios

Se entiende como **supervisión** de un proceso el conjunto de acciones desempeñadas con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento del proceso incluso en situaciones anómalas. De hecho, podemos afirmar que la supervisión está presente en cualquier proceso productivo y que se realiza a través de encargados y operarios especializados, que detectan la presencia de comportamientos anómalos y actúan en consecuencia (ajustando parámetros, cambiando consignas y activando accionamientos para prevenir un mal superior o conservar la capacidad operativa del proceso).

El propósito de la supervisión es la automatización de estas tareas. Para ello debe sacarse provecho de toda información y conocimiento disponible sobre el proceso. La dificultad de tales sistemas reside en la diversidad de procesos existentes y las diferentes manifestaciones del conocimiento que sobre estos

se dispone. Debido a estos y otros inconvenientes, hoy en día no es posible, todavía, cerrar el lazo que supone la supervisión sin incluir en él al operario humano.

De la automatización a la supervisión

De acuerdo con la definición que aparece en la normativa **S88** de la ISA (*Instrumentation Society of America*), relativa a la automatización de procesos, un **proceso** es una secuencia, u orden definido, de actividades químicas, físicas o biológicas que se llevan a cabo para la conversión, transporte o almacenamiento de material o energía. Cuando el resultado de dicho proceso es una cantidad finita de material, hablamos de proceso batch, en caso contrario se obtiene un flujo continuo de material y entonces hablamos de procesos continuos.

La automatización, entonces, se establece como forma de ordenación a partir de la secuenciación automáticas de tareas y regulación de variables para que sigan las consignas impuestas. El objetivo de la supervisión es asegurar este orden aún cuando haya desviaciones no previstas en la automatización. Por este motivo se establece la supervisión en un nivel jerárquicamente superior a la automatización y con una tarea clara de vigilancia. Para ello deberá disponer de las siguientes capacidades:

- Registrar la evolución del proceso y detectar desviaciones indeseadas en las variables.
- Analizar estas desviaciones y deducir el motivo. Elaborar un diagnóstico de la situación.
- Resolver situaciones conflictivas en línea, en caso de ser posible, o
- Tomar las medidas adecuadas para que no vuelva a suceder.

Tan importante es detectar con rapidez una situación anómala, como saber el porqué de dicha situación y obrar en consecuencia para que no vuelva a suceder. En este sentido, los sistemas de supervisión serán imprescindibles para la automatización de tareas en la implantación de planes de calidad tipo ISO 9000. Para ello el sistema de supervisión sacará provecho del conocimiento previo disponible sobre el funcionamiento del proceso.

Modelo y conocimiento

Tal y como se ha comentado, un proyecto de supervisión lleva implícito un profundo conocimiento del proceso y su funcionamiento. Pues bien, la descripción de este proceso, que aporte un conocimiento a priori sobre sus funcionalidades y características, constituye un **modelo** del proceso (o de parte de él). El concepto de modelo equivale al de conocimiento teórico del proceso que pueda ser representado en un ordenador. Un modelo puede ser un conjunto de ecuaciones diferenciales que describen la dinámica del sistema, pero también el conjunto de restricciones que definen el comportamiento normal del sistema o la descripción de las funcionalidades del proceso, ya sea a base de reglas, condiciones de operación o dependencias entre variables.

La importancia de este modelo reside en disponer de información adicional relativa al funcionamiento (correcto o anormal) del proceso que pueda ser comparada con el estado actual de éste obtenido a través de las señales adquiridas. Como resultado de la comparación, el sistema de supervisión decidirá sobre el correcto funcionamiento del proceso. Se presenta, por lo tanto, el modelo como forma de validar el comportamiento del proceso o, en su caso, la determinación de discrepancias respecto las condiciones normales de operación.

Beneficios de la Supervisión

El fin último de la supervisión es el de asegurar la calidad y homogeneidad del producto asegurando el adecuado funcionamiento del proceso incluso en presencia de situaciones anormales. Se trata de dar al operador o encargado de control el máximo soporte, liberándolo de la tensión que supone una vigilancia constante y de las tareas rutinarias (elaboración de informes periódicos, lectura y comparación de registros que garantizan el orden y la sistematización anhelada en los planes de calidad, etc.).

El correcto aprovechamiento del conocimiento e información disponible sobre el proceso permite la evaluación automatizada, continuada y en línea, del proceso de una forma objetiva. Se garantiza de esta forma la uniformidad en la decisión e independencia respecto a apreciaciones subjetivas.

Los sistemas de supervisión reducen el coste de aprendizaje del personal de planta. Los interfaces gráficos facilitan tanto una comprensión rápida del proceso como la localización y identificación rápida de dispositivos o partes del proceso por asociación gráfica y geográfica entre la representación y el proceso real. Se garantiza una interacción simple a través de pantallas táctiles y cursores, manejables de forma intuitiva. Otra ventaja de los actuales sistemas de supervisión es que permiten una rápida acomodación del personal, conservando la uniformidad de decisión y disminuyendo los inconvenientes producidos por situaciones eventuales como vacaciones, bajas o cambios de turnos.

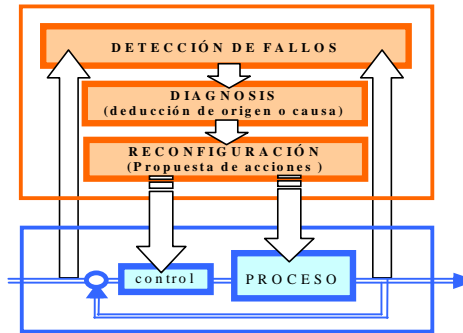
Supervisión y monitorización

La implementación de un sistema de supervisión supone recorrer tres etapas fundamentales: **la detección de fallos, el diagnóstico** de éstos y finalmente **la reconfiguración** del sistema, que debe permitir continuar operando de acuerdo con las especificaciones fijadas. En caso de no realizarse las tres etapas anteriores, se considera el sistema de supervisión como sistema de vigilancia y asistencia al operario y se concibe como sistema de **monitorización** (Ver capítulo 2). Se trata de sistemas que alertan al operario y éste decide sobre la existencia de fallos en el proceso, así como su origen y las acciones a realizar. En este caso el sistema de supervisión lo constituyen el entorno de monitorización junto con el operario a su cargo y por tanto es habitual designar también como entornos de supervisión a tales sistemas. Con el propósito de diferenciar dichos sistemas de otros, más avanzados, en este texto se utiliza el concepto de **supervisión experta** para designar aquellos entornos que incorporan facilidades de decisión y diagnóstico además de la monitorización. Para ello se recurre normalmente a la utilización de métodos estadísticos y herramientas de la Inteligencia Artificial que permiten la utilización de conocimiento y experiencias de forma automática en combinación con los entornos de monitorización.

Etapas en la supervisión: Detección, Diagnóstico de fallos, Reconfiguración.

Como se ha enunciado en el párrafo anterior, un proyecto de supervisión, debe acometer tres etapas básicas: **detección de fallos, diagnóstico de fallos y reconfiguración** (Ver Fig. 1-2) . Para llevarlas a cabo, es imprescindible disponer de registros de las señales de proceso de forma

centralizada en un ordenador de control y por tanto se parte de procesos monitorizados.



• Fig. 1-2 Etapas básicas en supervisión.

El objetivo de la **detección de fallos**, (capítulo 4) es el de obtener indicios de situaciones anómalas que puedan llevar al proceso a una situación de fallo y clasificarlas como tales. Esta tarea consiste básicamente en la obtención de indicadores de fallo y su evaluación continuada seguido de un proceso de decisión. Se fundamenta, por tanto, en el conocimiento sobre el funcionamiento del proceso (modelo) y la utilización de éste de forma automática y sistemática para decidir sobre el correcto (o incorrecto) funcionamiento del proceso de forma continua. Imaginemos a modo de ejemplo un sistema de regulación de nivel que actúa sobre la bomba que alimenta el suministro de líquido. El propósito es mantener un caudal constante a la salida del depósito. Si no se produce ningún cambio en el sistema, una desviación significativa en el valor del caudal de salida respecto el valor deseado será indicativo de algún fallo. Por ejemplo una obstrucción en la bomba, o una fuga en los conductos. En el capítulo 4 se exponen diferentes métodos que pueden ser usados con este propósito dependiendo del conocimiento disponible sobre el proceso.

El **diagnóstico de fallos**, o simplemente **diagnosis** (capítulo 5), sigue a la detección de fallos con el propósito de averiguar las causas primeras de esta situación anómala. El diagnóstico consiste en un procedimiento deductivo que lleva al origen del fallo. Tomando el ejemplo anterior, si observamos que el nivel corresponde al adecuado y el caudal de salida ha disminuido, deduciremos que hay una fuga en el conducto de salida y este será nuestro diagnóstico.

Finalmente la **reconfiguración**, o propuesta de acciones consistirá en las acciones a realizar para mantener el proceso operativo. Siguiendo con el ejemplo, se alertará de la fuga pero podemos conservar el caudal inicial a la salida del depósito elevando la consigna correspondiente al nivel. Este cambio en la consigna es por tanto la reconfiguración que proponemos para nuestro sistema.

Supervisión experta

La industria actual goza de un elevado nivel de automatización pero, a pesar de ello son necesarios la vigilancia y el seguimiento por parte de ojos expertos desde la sala de control. La experiencia y el *know how* sobre el proceso son los que en muchas ocasiones permiten **detectar** situaciones indeseadas (*fallos*) y **diagnosticar** su origen. Por descontado, en presencia de tales situaciones siempre se recurre a la experiencia y conocimiento para obrar en consecuencia.

Este conjunto de tareas, que pueden parecer rutinarias a los ojos del operario son los que confieren al supervisor su categoría de experto y son consecuencia de su aprendizaje y capacidad de razonamiento y deducción. El objetivo, por tanto, es lograr un sistema informático dotado de **experiencia** y **conocimiento** suficiente como para relajar la atención del operario y que sirva a éste de soporte y consulta.

La supervisión en la industria actual: SCADAs

En la industria actual han proliferado los llamados sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) como sistemas de supervisión. Como su nombre indica dichos sistemas se atribuyen las funcionalidades de centralización o adquisición de datos, control y supervisión. Podemos decir, por tanto, que representan el estado actual de esta disciplina en los entornos industriales.

Un SCADA es una aplicación o conjunto de aplicaciones software con acceso a planta, mediante comunicación digital con los instrumentos y actuadores, e interface gráfica de alto nivel con el usuario. De todas formas, las siglas SCADA se utilizan tanto para designar estas aplicaciones como los entornos utilizados para su desarrollo, asociando a ellos las marcas comerciales (ver capítulo 3).

Entre las funcionalidades básicas de un sistema SCADA destacan:

- Adquisición y almacenado de datos
- Representación gráfica y animada de variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas.
- Control, actuando sobre autómatas y reguladores autónomos (consignas, alarmas, menús, etc.) o bien directamente sobre proceso a través de E/S remotas.
- Arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidas en redes de comunicación.

Una revisión detenida de la diversidad de productos SCADA que se encuentran en el mercado (Consultar capítulo 3) permite afirmar de la mayoría de ellos que aunque cumplan perfectamente con las tareas de adquisición de datos y control (compartiendo responsabilidad con los dispositivos de campo, tipo PLC) distan de ser entornos de supervisión expertos. Es decir, la integración de conocimiento experto y su utilización en tareas de decisión queda reducida a su característica de sistema abierto. De hecho, el rol supervisor de los SCADA actuales queda relegado básicamente a la activación y registro de **alarmas** asociadas al traspaso de umbrales por parte de variables analógicas (ver capítulo 2). Aunque las alarmas pueden considerarse una forma simple de detección de fallos, quedan por cubrir otras tareas de supervisión como son el diagnóstico y la propuesta de acciones para la reconfiguración del sistema, en caso de ser necesario. Por tanto, bajo esta perspectiva, los actuales sistemas SCADA distan de ser entornos de supervisión expertos y sus funcionalidades básicas deben completarse con otras aplicaciones.

En ese caso, será tarea de la ingeniería, o del equipo de desarrollo, la selección y integración de las herramientas más adecuadas (sistemas expertos, herramientas de decisión, simuladores, bases de datos, planificadores, herramientas de gestión u otras aplicaciones) para configurar el entorno global de supervisión. El SCADA establece el puente entre el proceso y otras aplicaciones.

Terminología

A continuación se apunta un breve listado relativo a los términos más comunes en supervisión. Los términos marcados con asterisco (*) corresponden a los aceptados por el Comité Técnico de SAFEPROCESS de 1996 y recogidos por Isermann y Ballé (pueden encontrarse también en [8]). Se han añadido otros debido a su uso frecuente en el dominio de la supervisión.

Relativo al estado del proceso

- **Falta** (**Fault*) o fallo: Desviación, no permitida de una variable o característica del sistema.
- **Malfuncionamiento** (**Malfunction*): Irregularidad intermitente en el comportamiento normal de un sistema.
- **Fallo** (**Failure*): Interrupción permanente, total o parcial, en el comportamiento normal del sistema.
- **Estado o régimen transitorio** (*Transient State*): Situación provocada por un cambio en las constantes del proceso (cambios de consignas o parámetros o aparición de perturbaciones) que resulta en una variación de una o varias de sus variables respecto del que adopta en estado permanente.
- **Estado o régimen permanente** (*Steady State*): Situación caracterizada por un valor constante o repetitivo (periódico) en el valor de todas las variables del proceso. Sigue a un régimen transitorio en los sistemas estables.

Relativo a las señales

- **Alarma** (*Alarm*): Alerta de falta provocada por la superación de un umbral asociado a una variable.
- **Evento** (*Event*): Sucesos característicos que identifican un cambio significativo en una característica asociada a una variable. La aparición o desaparición de una *alarma* es un evento en si misma.

- **Error** (**Error*): Desviación entre una medida o cálculo de una variable y su valor verdadero (o teóricamente correcto).
- **Residuo** (**Residual*): Diferencia entre la salida de un sistema predicha por un modelo y la medida. Se utiliza como forma de generación de alarma en la detección de fallos.
- **Síntoma** (*Symptom*): Desviación de una magnitud observable respecto a su comportamiento normal en ausencia de modelo.

Nota: Aunque los conceptos de alarma y evento están asociados a las señales mientras que las Faltas (o comúnmente fallos) se asocian al funcionamiento del proceso, unos son consecuencias de los otros. Es decir, una *alarma* se activará al producirse un *evento* y será indicativo de *falta* en el proceso.

Relativo a las tareas de supervisión

- **Detección de fallos** (**Fault Detection*): Determinación de la presencia de fallos.
- **Diagnóstico de fallos** (**Fault Diagnosis*): Determinación del origen de los fallos (que componente, en que lugar,...).
- **Monitorización** (**Monitoring*): Determinación y representación gráfica de las condiciones de funcionamiento de un sistema real en tiempo real. Sinónimo de seguimiento o vigilancia.
- **Supervisión** (**Supervision*): Monitorización de un sistema, para detectar los posibles fallos y actuar en consecuencia. Proponer acciones correctoras frente a situaciones detectadas y diagnosticadas.
- **Supervisión experta** (*Expert Supervision*): Supervisión que utiliza para sus propósitos mecanismos de abstracción de información y procesado automático de conocimiento y/o experiencia.

Introducción

La industria actual ha abandonado los procesos rígidos y estáticos, substituyéndolos por sistemas flexibles y adaptables, capaces de responder a la demanda del mercado de forma continua. No obstante, la complejidad de los procesos y las interdependencias en las diferentes etapas de producción dificultan no solo la flexibilidad en el proceso productivo, sino también su gestión. La dificultad aumenta con las imposiciones actuales de calidad integral del producto, eliminación de *stocks* y disminución de márgenes de error. La lucha por los mejores precios en el suministro rivaliza con la necesidad de su continuidad y es el proceso quien debe asumir las tolerancias en el producto de entrada, dentro de los límites establecidos, asegurando la uniformidad en la producción entregada.

El seguimiento del proceso y de la evolución de forma continuada del producto son los que permitirán alertar del buen o mal funcionamiento a la vez que establecer criterios de ajuste y cambio dentro del proceso. Se entiende como **monitorización** a la automatización de este proceso de vigilancia dotando al operario de los mecanismos necesarios para su alerta, así como la interacción amigable con el proceso y el registro de su evolución (históricos). Su propósito es facilitar la detección de situaciones anómalas y su diagnóstico a través de un seguimiento continuo de las variables de proceso.

No es suficiente con realizar las acciones de control. Éstas han de adaptarse, de acuerdo con el producto en curso, de forma que se establecen menús y recetas de producción para gestionar una producción cambiante y en constante evolución. La definición del proceso varía con el producto y la toma de decisiones sobre su comportamiento es continua. Se necesitan, por tanto, interfaces adecuados para interaccionar con el proceso y mecanismos adicionales de alerta (alarmas) y soporte a la decisión. La salvaguarda de evoluciones anteriores (históricos) ha de contribuir a la decisión y al diagnóstico tanto de situaciones anómalas como de reclamaciones. Se asegura de esta forma la trazabilidad (reconstrucción del proceso productivo) del producto finalizado; permitiendo, incluso, el análisis postventa de incidencias. Los paquetes actuales de monitorización cubren estas funciones a partir de las medidas continuadas de las variables de proceso y estableciendo mecanismos de alerta sobre estas variables.

En este segundo capítulo se hace un repaso a las funcionalidades básicas que aportan los entornos de monitorización actuales en cuanto a adquisición y registro de datos, representación, centralización de información y gestión funcional. Se hace incidencia en criterios de diseño del interface gráfico de acuerdo con la información que representa. También se presentan los conceptos de alarma y tendencia como forma simple de detección de fallos de gran ayuda en tareas de vigilancia. Finalmente, el capítulo presenta la exigencia de registrar la evolución del proceso como una necesidad del usuario para evaluar las situaciones y comparar con el pasado. En este sentido, las bases de datos se muestran como forma de compartición de recursos entre aplicaciones.

Adquisición y registro de datos

La evolución de los ordenadores hacia sistemas más abiertos y modulares a base de expansiones de bus y tarjetas funcionales que permiten el acceso a representaciones eléctricas de las magnitudes de proceso ha propiciado la interconectividad del proceso con los sistemas de monitorización. Los autómatas programables (PLC, *Programmable Logic Computer*), los sistemas distribuidos de control (DCS, *Distributed Control System*) y los ordenadores industriales (IPC, *Industrial Personal Computer*) han irrumpido en el control de procesos no solo como elementos de control, sino como verdaderos interfaces de acceso al proceso. Junto a ellos, las comunicaciones industriales han

evolucionado para facilitar su interconexión a la vez que sensores y actuadores han evolucionado para su conexión directa.

Bajo la perspectiva de la monitorización, el objetivo es la centralización de todos los datos de proceso en un ordenador (o red de ordenadores); por tanto, la elección de estos dispositivos deberá hacerse conforme a la aplicación (o aplicaciones) de monitorización. Es decir, deberá asegurarse la compatibilidad entre el software de monitorización y los dispositivos de instrumentación a través de los *drivers* adecuados (normalmente proporcionados por el fabricante del software de monitorización). Aunque la tendencia actual es hacia la compatibilidad entre fabricantes (ver capítulo 3 y capítulo 7), éste es un aún un punto a tener en cuenta en la elección.

Dispositivos para la adquisición de datos

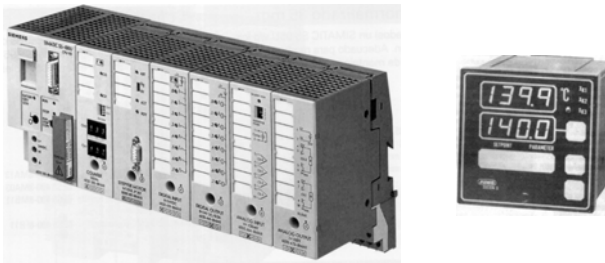
A continuación se apuntan las soluciones tecnológicas más habituales para la adquisición de datos pensando en la monitorización. Así, pues, no son soluciones equivalentes alternativas sino que muchas de ellas pueden coexistir dentro de un mismo proyecto de automatización o ser excluyentes de acuerdo con las especificaciones del proyecto. Bajo la perspectiva de la monitorización, se apuntan a continuación las soluciones tecnológicas más comunes para la adquisición de datos del proceso.

La solución más económica, por no necesitar de alimentación propia, ni chasis, ni pantalla de visualización la ofrecen las tarjetas de adquisición de datos (TAD) y tarjetas de instrumentación. Directamente conectables al bus del ordenador, necesitan para su utilización un software específico para su control y configuración o de los *drivers* suministrados por el fabricante para ser utilizadas desde un paquete estándar de adquisición o control (por ejemplo, LabWindows/CVI, LabView o Test Point). Su utilización se reduce a pequeños procesos de laboratorio y tareas específicas en que se requiere la potencia del ordenador para determinados cálculos.

Una alternativa interesante cuando se necesita de instrumentación de laboratorio específica para la automatización de ciertas medidas (respuestas frecuenciales, desfases, sincronías, etc.) la constituyen los buses de instrumentación. Los más comunes son el *GPIB (HP-IB)*, bus paralelo basado en el estándar **IEEE-488.2** y el *VXI*, que combina instrumentos y controladores programables montados en chasis y totalmente gestionados por un ordenador.

Es común su utilización para la automatización de medidas para control de calidad de equipos y subsistemas electrónicos.

En instalaciones de mayores dimensiones y con necesidades de control y/o secuenciación múltiple, se utiliza el autómatas programable o PLC (*Programmable Logic Controller*) para estas tareas (Fig. 2-1). Estos dispositivos pueden actuar a su vez como sistemas de adquisición. En ese caso el enlace con el ordenador de monitorización se realiza a través de interfaces serie (**RS-232/RS-485** y similares). Los autómatas ejercen de interface entre los sensores de planta y el ordenador a la vez que contienen y ejecutan su propio programa, de forma autónoma, de acuerdo con el estado de las entradas y salidas (analógicas y digitales) de que disponen. Por su parte el ordenador lee los estados de los autómatas actuando a un nivel superior (supervisión) que permite cambiar una estructura de control, la sincronización de procesos, análisis de tendencias, cambio de menús de producción, etc. El ordenador monitoriza el proceso, relegando las tareas de control al autómatas.



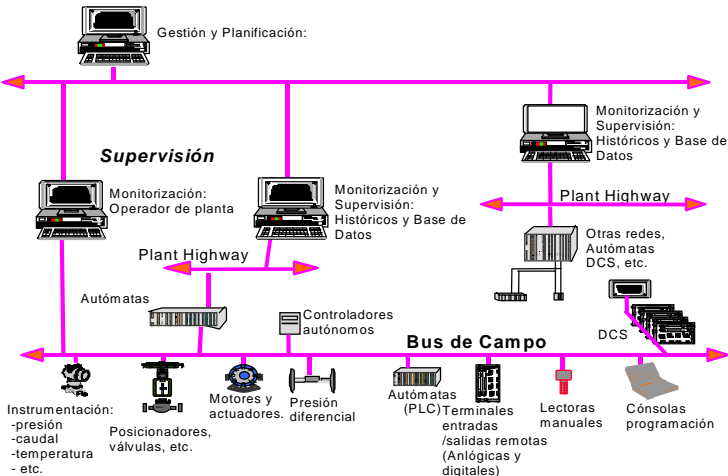
• Fig. 2-1 Autómatas S5 de Siemens y Regulador autónomo JUMO.

Cuando las necesidades de control no justifican un autómatas porque pueden resolverse con instrumentos de panel (reguladores autónomos, visualizadores, etc.) o en las situaciones en que las variables de interés controladas por el autómatas son pocas y se desea, además, su visualización en instrumentos de panel, puede optarse por la comunicación directa de dichos instrumentos con el ordenador. Para ello debe comprobarse que tanto el instrumento como el ordenador disponen del interfaz adecuado (módulos de transmisión serie).

En grandes instalaciones, la utilización de placas de expansión de bus y de interfaces permite ampliar el número de entradas y salidas a tratar, llegando a tratar centenares de entradas en sistemas de E/S distribuidas. Estas

configuraciones permiten realizar tanto supervisión como control directo de la planta debido a la alta velocidad de transferencia. A medida que el número de E/S y las longitudes crecen, los sistemas de distribución pasan por la utilización de buses de campo con transmisión serie.

Los buses de campo constituyen el sistema de comunicaciones para dispositivos más próximo al proceso; de ahí su nombre. Permiten la interconexión de todo tipo de dispositivos de campo (sensores, actuadores, reguladores, autómatas) en un bus serie. Se trata de una línea de datos semidúplex (*RS-485*) en que los dispositivos conectados se organizan en una estructura maestro/esclavo. En cuanto al protocolo utilizado, éste depende de los fabricantes. Algunos son propiedad de un solo fabricante (como *ModBus* o *DH+*) mientras que otros son consorcios de marcas (por ejemplo *Profibus* o *FieldBus*) que se rigen por las recomendaciones de sus comités. A nivel físico el bus es normalmente un par trenzado y apantallado, aunque existen versiones en coaxial y fibra óptica. La interconexión con el ordenador de monitorización se establece bien por conexión directa de éste al bus o de forma indirecta a través de algún dispositivo (autómata) conectado a él (Fig. 2-2).



• Fig. 2-2 Interconectividad y comunicación industrial.

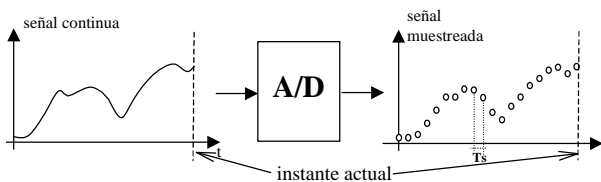
La utilización de buses de campo, es de utilidad en grandes instalaciones evitando el cableado individual de instrumentos. De esta forma instrumentos y

dispositivos de control pueden distribuirse como más convenga. Son los llamados sistemas de control distribuido (DCS, *Distributed Control Systems*) con módulos de entradas y salidas remotas que se comunican con dispositivos de control y estos entre ellos. Se trata de distribuir físicamente los dispositivos, pero también las tareas de control y seguimiento. En este caso, el ordenador es un elemento más que proporciona el único interfaz entre el proceso y el operador de planta.

A medida que aumenta el volumen de datos y las dimensiones de la planta, así como la necesidad de integrar departamentos, se requiere de redes de comunicación con mayores prestaciones (velocidad, protocolos, etc.). Existen entonces dispositivos que aseguran la interconectividad entre redes.

Registro de los datos

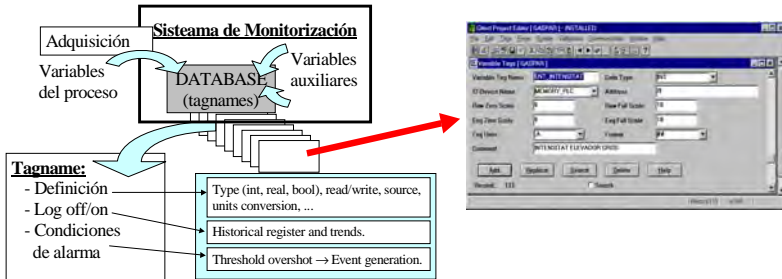
Sea cual sea el sistema de adquisición empleado para instrumentar el sistema de monitorización, en todos se establece una digitalización de la señal. Es decir, se establece un procedimiento de conversión de la señal analógica en digital, resultando una secuencia de muestras de la señal original (señal muestreada) con una representación numérica (ver Fig. 2-3).



• Fig. 2-3 Muestreo de una señal analógica. T_s : periodo de muestreo.

En el caso de señales discretas o binarias (dos estados posibles, 1 ó 0, ON/OFF, presencia / ausencia) es suficiente la utilización de un dígito binario (bit) para su representación. Para las señales analógicas o continuas (temperaturas, caudales, presiones, etc. representadas por señales eléctricas de 0-24 V, 0-10V, 4-20 mA. o similares) se utiliza en su representación una palabra formada por varios bits (habitualmente 8, 12, 16 o 32 bits), cuyo rango de valores depende precisamente del número de bits según la relación 2^N , siendo N el número de bits. El número de bits utilizado en la representación viene limitado por el conversor y el microprocesador que incorpora el sistema de adquisición.

Este procedimiento de conversión analógica a digital es por lo general transparente al usuario del sistema de monitorización, de la misma manera que lo es la comunicación entre los instrumentos del sistema de adquisición y la aplicación de monitorización.



• Fig. 2-4 Tags: Definición de variables de proceso en CITECT

Desde la perspectiva del entorno de monitorización, las variables de proceso se representan por etiquetas o '**tags**' (ver Fig. 2-4) que permiten la definición de cada variable en cuanto a su naturaleza continua (analógica) o discreta (binaria), la asociación de un nombre, el rango de valores a tomar, unidades de ingeniería y otras propiedades de utilidad para la monitorización como son el dispositivo de adquisición, alarmas, su registro, etc. La organización de todas las variables (adquiridas y internas) se hace en los entornos de monitorización en bases de datos.

Representación del proceso

La representación del proceso es una etapa básica de la monitorización. La identificación inmediata de los elementos del proceso con una representación gráfica (sinópticos) de éstos es importante para lograr los objetivos de la monitorización. La representación visual de información y su interactividad es lo que se conoce como **interface gráfico de operador** o **interface hombre máquina** (HMI o MMI). Los paquetes SCADA actuales incorporan estas facilidades a través de ventanas (o pantallas) en que se representa el proceso o parte de éste. La navegación por estas pantallas se hace a través de menús, desplegables y botones activados con un cursor gráfico asociado a un ratón, teclado, o interfaz similar.

Creación de sinópticos

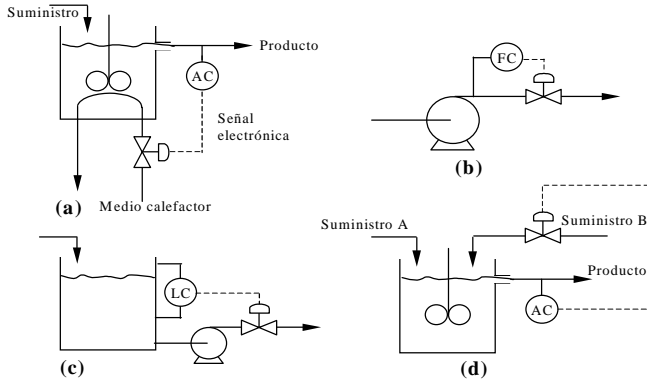
En el momento de crear una representación gráfica, la elección de la iconografía adecuada, la distribución en la pantalla y la elección de los colores adecuados facilita la interacción entre el usuario y el proceso. Algunas consideraciones útiles para la creación de pantallas gráficas o sinópticos son las que se sugieren en [1]:

- Las pantallas, o ventanas, tendrán una apariencia consistente, con zonas diferenciadas para mostrar el sinóptico, botoneras, menús y presentación de mensajes del sistema. Dicha distribución se conservará en todo el proyecto, siempre que sea posible.
- La representación del proceso (sinópticos) se organizará de acuerdo con la distribución física de las células de producción, teniendo en cuenta que el sentido de lectura y observación normal es de izquierda a derecha y de arriba abajo.
- La información numérica presentada se hará sobre los elementos gráficos que la generan.
- La utilización de colores (ver Tabla 2-1), por ejemplo en fondos, y líneas (marcos, flechas, etc.) ayuda a la comprensión rápida de información. Un número excesivo de ellos la oculta o dificulta. Debe establecerse un uso lógico de la coloración y se preverá la diferenciación de información por otros procedimientos (texto, parpadeo, etc.) en caso de utilización de monitores monocromo, exceso de iluminación exterior, daltonismo en el operario, etc.
- La presencia de intermitencias llama la atención del observador, pero dificulta su lectura, por tanto se utilizarán en partes gráficas y no en textos.

ROJO	AMARILLO	VERDE	AZUL	PÚRPURA	BLANCO	GRIS	NEGRO
Peligro. Gas o líquido inflamable. Positivo en fuentes de alimentación. Carreteras, líneas telegráficas. Señalización de paro.	Circuitos de calefacción. Agentes oxidantes y elementos radioactivos. Precaución, aviso de peligro. Canalización de gas.	Rejas y jaulas de prot. eléct. Nitrógeno. Gas compr. Señalización de marcha y limpieza. Canalización de aceite. Permiso.	Colector de transistores. Precaución reparación. Material de protección en tuberías. Agua, mar.	Negativo en fuentes de alimentación. Radiaciones. Materiales valiosos.	Regulación de tráfico.	Líneas de alimentación alterna. Canalización de vapor.	Masas y referencias en sistemas eléctricos. Materiales corrosivos. Contornos geográficos.

- Tabla 2-1 Significado habitual de colores en ambientes tecnológicos [13].

Aunque no existe una normativa a aplicar a la hora de representar el proceso en el sinóptico, la nomenclatura propuesta por la ISA (*Instrument Society of America*) para la documentación de procesos, es ampliamente utilizada y puede ser una forma de unificar las representaciones en el sistema de monitorización (ver Fig. 2-5 y Tabla 2-2).



• Fig. 2-5 Representación de procesos instrumentados según ISA.

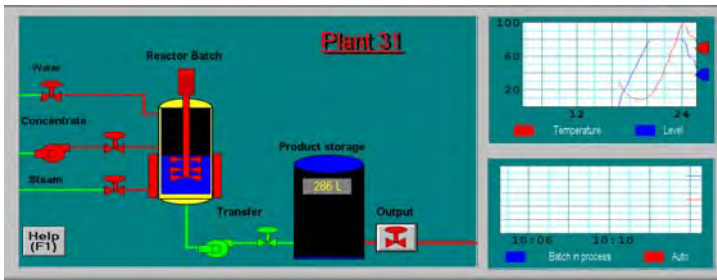
	1ª letra		Letras siguientes		
	Variable medida	Modificador (1)	Fón. de lectura pasiva	Función de salida	Modificador (1)
A	Analizador genérico	-	Alarma	-	-
B	Llama	-	Libre (2)	Libre (2)	Libre (2)
C	Conductividad	-	-	Control	-
D	Densidad peso esp.	Diferencial	-	-	-
E	Tensión (f.e.m.)	-	Elemento primario	-	-
F	Caudal	Relación	-	-	-
G	Calibre	-	Vidrio	-	-
H	Manual	-	-	-	Alto
I	Corriente	-	Indicador	-	-
J	Potencia	Exploración	-	Estación de control	-
K	Tiempo	-	-	-	-
L	Nivel	-	Luz piloto	-	-
M	Humedad	-	-	-	Intermedio
N	Libre (2)	-	Libre (2)	Libre (2)	Libre (2)
O	Libre (2)	-	Orificio	-	-
P	Presión o vacío	-	Punto de prueba	-	-
Q	Cantidad	Integración	-	-	-
R	Radiactividad	-	Registro	-	-
S	Velocidad/frecuenc.	Seguridad	-	Interruptor	-
T	Temperatura	-	-	Transmisor	-
U	Multivariable	-	Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Viscosidad	-	-	Válvula	-
W	Peso o fuerza	-	Vaina	-	-
X	Sin clasificar	-	Sin clasificar	Sin Clasificar	Sin clasificar
Y	No asignada	-	-	Relé u otros cálculos	-
Z	Posición	-	-	Elem. final control	-

(1) Los modificadores cambian el significado de la letra a la que siguen.

(2) Las letras libres son para cubrir designaciones no normalizadas.

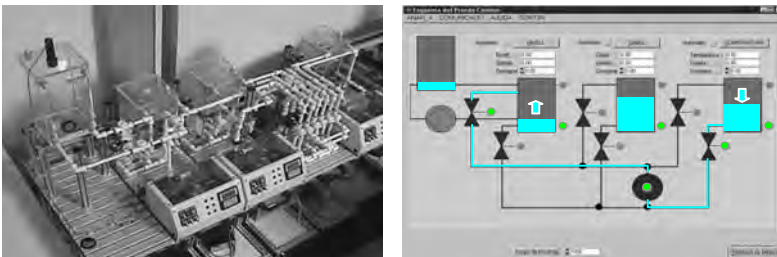
• Tabla 2-2 Extracto de las siglas utilizadas en la nomenclatura ISA.

A pesar de los intentos de establecer criterios de estandarización, la mayoría de productos SCADA disponen de sus propias librerías que sacan provecho de propiedades de animación y combinaciones de colores para la identificación no solo de los equipos de proceso sino también de su estado (paro / marcha) y la animación de sus contenidos de acuerdo con la evolución de las magnitudes medidas. La mayoría de éstos símbolos conservan un parecido con los propuestos por ISA que permite la unificación de su significado (ver a modo de ejemplo la Fig. 2-6 o la Fig. 2-7).



• Fig. 2-6 Representación de un reactor mediante iconografía InTouch.

Las facilidades gráficas que incorporan los paquetes actuales permiten la utilización de múltiples colores y la animación de objetos dentro de los sinópticos. El resultado es un interfaz dinámico y amigable que facilita la comprensión del proceso e incluso la **visualización** interna del equipamiento y la evolución del flujo de producto por él. Es, por tanto, importante una elección adecuada de los colores para representar estados o variables del proceso en la pantalla. Sirva a modo de guía en la elaboración de sinópticos la Tabla 2-1, en la que se relacionan los principales colores con significados comúnmente atribuidos a éstos.



• Fig. 2-7 Proceso real de laboratorio y pantalla en LabWindows/CVI.

En un sistema SCADA la utilización de objetos gráficos permite la representación animada de medidas del proceso junto con la visualización numérica. En señales discretas, por ejemplo, el convenio de colores adecuado permite identificar rápidamente los paros y marchas.

Alarmas: Situaciones anómalas

Las desviaciones en la magnitud de una variable superiores a unos límites especificados son concebidas en los sistemas de monitorización como **alarmas**. Su objetivo es poner al operario sobre aviso. De esta forma, una vez generada una alarma se fecha, visualiza y registra (se almacena o imprime). La automatización de la tarea de vigilancia del proceso se logra en los entornos de monitorización mediante estas alarmas usadas para detectar situaciones de comportamiento anómalo. Para su análisis posterior, estas se registran juntamente con los instantes en que se han producido.

Tipos de alarmas

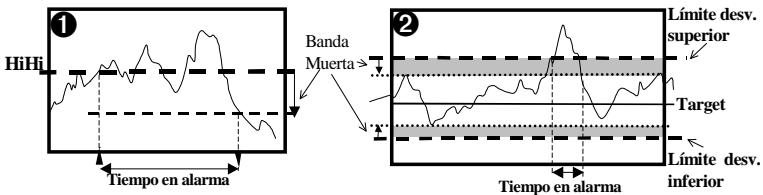
Una clasificación simple de los diferentes tipos de alarmas se obtiene de considerar las variables sobre las que se definen. Así diferenciamos entre alarmas discretas (variables discretas) y alarmas sobre variables continuas o de umbral.

Las **alarmas discretas** son indicadores de un cambio binario en el estado de la variable que representan. Una variable discreta puede ser utilizada para definir el estado de un sistema (paro/marcha, manual/automático), la presencia o ausencia de material, un fin de carrera, la detección de paso, etc. Esta información es de gran utilidad para la secuenciación de tareas en el desarrollo de sistemas de automatización. Pero a su vez puede utilizarse para alertar al operario, en caso de ser necesario, utilizando para ello las señales directas de sensores tipo todo/nada (fin de carrera por ejemplo) u otras de propósito específico (señal de circuito abierto en módulos de adquisición analógica a 4-20 mA).

En el caso de **variables continuas** se utilizan umbrales numéricos para designar los límites de operación normal de dicha variable. Su elección se hará de acuerdo con el significado físico de la variable y los límites permitidos para el funcionamiento correcto del proceso. Los sistemas de monitorización actuales incorporan diferentes formas de definir los umbrales de operación. Es

habitual dar dichos umbrales como un porcentaje respecto a un valor y especificar diferentes límites para el cruce de umbral ascendente (situación de alarma) o descendente (restablecimiento de situación normal) en forma de banda muerta. Entre las formas de definición de umbrales de operación más útiles y extendidas en los paquetes de monitorización comerciales destacan los tres siguientes:

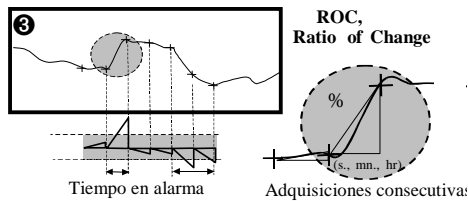
- Umbrales de alarma absolutos** (ver Fig. 2-8, ❶). Vienen dados por un valor numérico cuyo sobrepasamiento activa la alarma. Pueden darse tanto en sentido ascendente (superior) como descendente (inferior) y la especificación de diferentes niveles da lugar a diferentes niveles de alerta en la activación de alarmas. Los límites superiores normalmente se especifican como *High* y *HiHi* (en caso de haber dos niveles de alarma), mientras que para los inferiores es habitual el etiquetado *Low* y *LoLo*. Es habitual especificar una banda muerta (histéresis) en forma de tanto por ciento del valor umbral para evitar la activación y desactivación continuada de alarmas. De esta forma una vez superado el umbral deberá bajarse a una zona de mayor seguridad (normalidad) para que la alarma quede desactivada.



• Fig. 2-8 Alarma por superación de umbral absoluto (❶) y relativo (❷)

- Umbrales de alarma relativos** (ver Fig. 2-8, ❷). De forma similar a los umbrales absolutos, algunos sistemas permiten definir sus alarmas de acuerdo con límites establecidos alrededor de una consigna o valor objetivo (*target*). En este caso es habitual especificar dichos límites como % respecto al valor de referencia o *target*, admitiendo valores asimétricos para éstos. De igual forma que en los umbrales absolutos se considera una banda muerta (en forma de tanto por ciento) para la activación y desactivación de alarmas por cruce de umbrales.

- Umbral de alarma ROC** (*Ratio of Change* o Velocidad de cambio. (Ver Fig. 2-9). Otra forma habitual de especificar la activación de alarmas sobre una variable es por observación de la variación de ésta en lugar del valor absoluto o la distancia respecto a un valor deseado. En este caso la diferencia entre dos valores adquiridos consecutivamente permite estimar la velocidad de cambio (ROC, *Ratio of Change*) de la variable. Especificando un límite o umbral para esta nueva magnitud se establecen nuevas situaciones de alarma. Este sistema es muy útil cuando se conoce la dinámica del proceso permitiendo diferenciar los cambios en una magnitud debidos a la evolución correcta del proceso de los provocados por circunstancias ajenas. Imaginemos como ejemplo el enfriamiento de un horno, la utilización de un umbral ROC permite detectar situaciones de ventilación forzada producidas por la apertura de una puerta por ejemplo.



- Fig. 2-9 Activación de alarma por velocidad de cambio (ROC).

Gestión y registro de alarmas

Cuando los procesos crecen en complejidad y el número de variables a manejar es considerable, se hace necesario disponer de un sistema de monitorización. El número de alarmas que pueden dispararse en un momento determinado aumenta de forma multiplicativa con el número de variables. Teniendo en cuenta que una situación anómala normalmente repercute en más de una variable (debido a las dependencias entre éstas) podremos imaginar que en tales situaciones, el número de alarmas activadas simultáneamente puede llegar a ser muy elevado. Los sistemas de monitorización disponen de mecanismos de **filtrado de alarmas**, que consisten básicamente en asociar prioridades (por ejemplo 1-999, siendo el 1 la máxima prioridad) a las alarmas en el momento de su definición. Entonces, el mecanismo de filtrado consiste en la activación de alarmas de acuerdo con su prioridad.

Otro aspecto importante relacionado con la gestión de alarmas, es su seguimiento y registro temporal. Es decir, el momento en que se inicia una alarma, la duración de ésta, el instante en que el operario la reconoce o el momento en que desaparece o es borrada. Estos sucesos significativos asociados a las alarmas son conocidos en los entornos de monitorización como **eventos**. Son comunes los siguientes:

- *Activación de alarma.* Superación de los umbrales de alarma.
- *Fin de alarma,* indica que la magnitud asociada a la alarma regresa a los límites permitidos sea cual sea el motivo de la nueva situación.
- *Reconocimiento de la alarma* por parte del operador a través del interfaz gráfico del sistema de monitorización.
- *Forzado de variables.* Algunas de las magnitudes asociadas a alarmas (por ejemplo las variables de control) pueden ser forzadas por el operador (por ejemplo el cierre o a apertura de válvula) de forma manual, resultando una situación de alarma (habitual en las puestas en marcha). En este caso la alarma es registrada como *variable forzada* indicando la acción voluntaria del operario en el disparo de la alarma.

El sistema de monitorización permite el registro de estos eventos asociados a las alarmas, junto con los instantes en que se ha producido. Como se verá en los capítulos siguientes, el disparo de alarmas orientados a la supervisión constituyen un mecanismo simple de detección de fallos, en tanto que alertan de situaciones anómalas en la evolución del proceso. Son mecanismos ampliamente utilizados, pero no son los únicos (ver capítulo 4).

Gráficas y Tendencias

La interpretación visual de la información es otra de las herramientas utilizadas en la industria. Así, los antiguos trazadores de plumilla sobre papel (continuo o circular) se han visto substituidos por las representaciones gráficas en pantalla, permitiendo la superposición de gráficas y la discriminación por colores a la vez que permiten el efecto *zoom* para análisis globales o más locales. De igual forma, la referencia temporal de cada muestra adquirida está correctamente fechada de acuerdo con un único reloj, evitando variaciones y confusiones en la comparación de registros.

Aún existiendo el concepto de alarma asociado a las variables, la visualización gráfica de su historia permite al operario anticipar algunas situaciones. La observación de la evolución que dichas gráficas experimentan y su comparación con experiencias previas o con otras variables relacionadas permiten al operario de planta establecer conjeturas, que se verificarán o no, a medida que el proceso evoluciona y la gráfica se actualiza. El operario de esta forma observa la **tendencia** del proceso a través de las gráficas, permitiendo la visualización a diferentes escalas temporales y sobreponiendo la evolución de varias variables en la misma gráfica.

Uno de los campos abiertos en la supervisión actual es precisamente la automatización de este proceso de abstracción que el operario ejerce sobre la evolución histórica de las variables de proceso. Se proponen para ellos descripciones cualitativas de las tendencias y representaciones basadas en episodios temporales de las señales fácilmente parametrizables (capítulo 5).

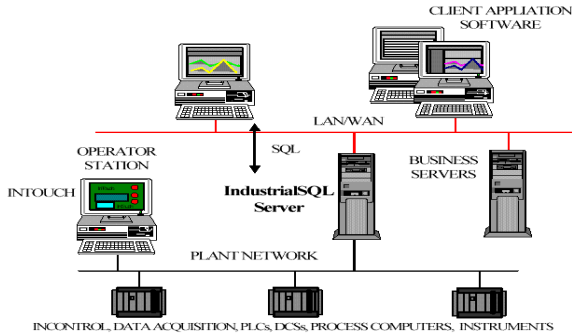
Históricos y Bases de datos

Una de las posibilidades que se derivan de disponer de una centralización de las medidas de un proceso es la de su almacenamiento. El registro continuado de datos permite la posterior recuperación de éstos y por tanto también su graficación, comparación, creación de estadísticas, análisis, etc. Por tanto, será una funcionalidad básica del sistema de monitorización el registro de datos del proceso (**históricos**) y su posible explotación. Con este propósito los sistemas de monitorización se vinculan a bases de datos, normalmente externas a éstos. De esta forma, los sistemas de monitorización permiten el seguimiento histórico del producto (trazabilidad), la comparación de campañas o su utilización como entrenadores visuales para la formación de operarios sin necesidad de conexión directa al proceso.

La utilización de bases de datos externas permite el acceso tanto desde el entorno de monitorización como desde otras aplicaciones a través de lenguajes estándar, resultando la forma más cómoda de integración de los sistemas informáticos industriales. SQL (*Structured Query Language*) es uno de los lenguajes más extendidos y adoptado por la mayoría de fabricantes y proveedores de software industrial.

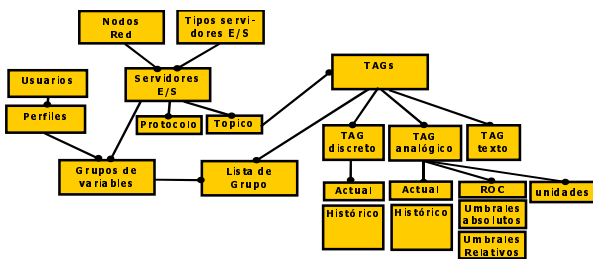
La utilización de estos lenguajes permite trabajar con grandes volúmenes de datos bajo restricciones de tiempo. Esta es una consideración importante a tener en

cuenta en grandes instalaciones dónde las restricciones debida al volumen de información y al tiempo son importantes. Imagínese el volumen de información generado, por ejemplo, en la monitorización de un proceso en que sea necesario leer 2000 variables procedentes de 400 dispositivos de campo y registrarlas a intervalos de tiempo que varían entre 1 segundo y 20 minutos.



• Fig. 2-10 Integración mediante SQL. Cortesía de InTouch.

De esta forma los sistemas de monitorización actuales utilizan bases de datos relacionales (ver Fig. 2-11) configuradas de acuerdo con un modelo de datos definido por el fabricante. A partir de este modelo de datos, el sistema de monitorización es capaz de leer los datos de los dispositivos adecuados y almacenarlos de acuerdo con la configuración del sistema atendiendo a las restricciones temporales especificadas para cada variable.



• Fig. 2-11 Posible estructura de una base de datos para supervisión.

Los datos quedan ordenados en tablas y son accesibles para su presentación, creación de informes o su posterior análisis, en esquemas varios.

SCADAs comerciales

Introducción

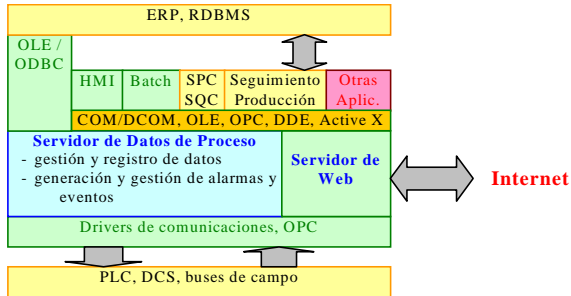
En este capítulo se presenta el estado actual de las aplicaciones llamadas de supervisión actuales, y conocidas como SCADAs, haciendo hincapié en la funcionalidad de dichos entornos y la facilidad de configuración. También se hace una presentación específica de aquellas características que, en estos momentos, están marcando la diferencia entre productos o bien son objeto de una fuerte evolución. Se trata por tanto de un capítulo con fecha de caducidad.

La tendencia actual es hacia la integración con el propósito de potenciar las funcionalidades del conjunto. Esta integración lleva en primer lugar hacia los denominados sistemas **MES**, *Manufacturing Execution System*, y se extiende a la integración con software de gestión de la producción, de control de calidad y de gestión empresarial en su sentido más amplio. Por otra parte, la integración de aplicaciones permite desarrollar estrategias de supervisión específicas para un proceso concreto, basadas en la aplicación de diferentes tecnologías e integrarlas en un sistema de supervisión y control construido a partir de un SCADA comercial.

Estructura Interna de una aplicación SCADA comercial

La estructura básica de una aplicación SCADA se puede representar mediante el esquema de la Fig. 3-1. En la parte inferior tenemos los dispositivos de

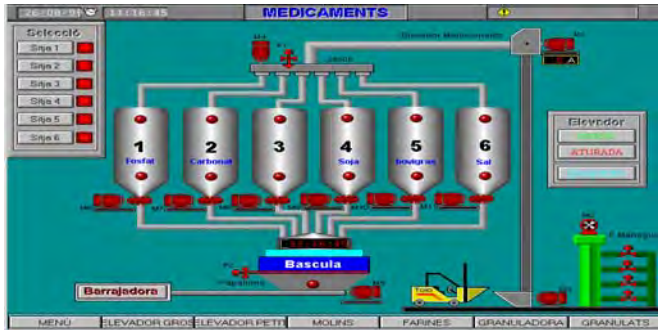
campo que proporcionan los datos del proceso y reciben las consignas y señales de mando para su control. La parte central constituye el núcleo de la aplicación SCADA y está constituido por diversos servidores. Cada producto comercial presenta sus particularidades, pero en líneas generales podemos hablar de los núcleos siguientes:



• Fig. 3-1 Estructura de un sistema SCADA

- **Driver de comunicación**, encargado de gestionar las comunicaciones entre los servidores de datos y los dispositivos de campo, y que implementa los protocolos necesarios para efectuar dichas comunicaciones.
- **Servidor de Datos del Proceso**, encargado de detectar y gestionar alarmas y eventos, y de almacenar datos para su análisis posterior. Con acceso directo a las bases de datos. Junto con el anterior cumple las funcionalidades descritas en el capítulo 2.
- **Servidor de Web**, que gestiona la disponibilidad y el acceso a datos mediante Internet. En todos los casos permite recibir, desde equipos remotos, información de la planta. Las estaciones remotas también permiten, en algunos productos, enviar consignas y señales de mando vía Internet.
- **HMI** o Interface Hombre Máquina (*Human Machine Interface*): Interface gráfica para la visualización del estado del proceso mediante objetos animados, gráficos, textos, listados, y ventanas múltiples, entre otras (ver por ejemplo Fig. 3-2).
- **OLE/ODBC**, *Open Data Base Compliance Interface*: Interface según estándar de Microsoft para la comunicación de datos entre distintos tipos de bases de datos. Es especialmente útil cuando se desea

enlazar la base de datos del sistema SCADA con la base de datos de sistemas superiores de gestión de la empresa tipo ERP, *Enterprise Resources Planning*, o MRP, *Manufacturing Resource Planning*.



• Fig. 3-2 HMI desarrollado en CITECT.

Los siguientes núcleos se ofrecen como opcionales o a veces son paquetes ofertados por terceros:

- **Batch:** Aplicación para la gestión de recetas y procesos por lotes.
- **SPC/SQC**, *Statistical Process Control / Statistical Quality Control*: Aplicación para el seguimiento y control de la calidad por variables o atributos, y la realización de diversos cálculos estadísticos y obtención de curvas y gráficas de calidad (ver capítulos 4 y 5).
- Seguimiento de Producción: Se trata de aplicaciones muy adaptadas a cada proceso y a cada empresa, por lo que son muy configurables. Disponen de utilidades para la generación de consultas sobre la base de datos de proceso y la generación de listados específicos.

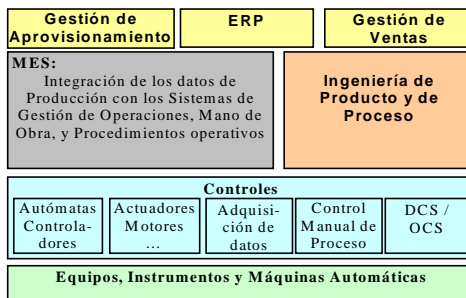
Finalmente, decir que la utilización de los estándares de Microsoft como DDE, OLE, COM/DCOM, ActiveX, y OPC son soluciones de integración para aplicaciones desarrolladas por terceros o específicas para un proceso en particular. En la parte superior de la Fig. 3-1, vemos como el sistema SCADA se puede comunicar con aplicaciones de gestión empresarial, a través de interfaces OLE/ODBC o a través de aplicaciones específicas tipo MES, o de Seguimiento de la Producción. El objetivo es integrar datos de planta con la gestión de costos, materiales, pedidos, etc.

Tecnología de Sistemas Abiertos

A la hora de elegir un SCADA, un aspecto clave es determinar cual debe ser el sistema operativo sobre el que debe ejecutarse. La elección más habitual, en este momento, es decidirse por un entorno operativo Windows NT/2000, o Windows 95/98, tanto por la familiaridad que ofrece este entorno al usuario, como por el numeroso software existente y la economía que supone su adopción.

Integración con otras aplicaciones

La **integración** de aplicaciones, aunque atractiva, siempre se trata de un proceso delicado y complejo, aunque el uso cada vez mayor de estándares facilita dicha integración. El propósito es responder al manejo de datos heterogéneos (de procedencia dispar) y que éstos se procesen de forma automatizada. Desde la adquisición de datos hasta la generación de informes a medida de cada departamento (calidad, aprovisionamiento, atención a clientes, gestión de costes, etc.) o la gestión de almacenes, pedidos y compras deben estar integrados. Con este propósito la Fig. 3-3 muestra el modelo de información de planta según MESA internacional.



• Fig. 3-3 Modelo de Información en Planta

Un primer nivel de integración de proceso y gestión lo proporcionan los sistemas MES, orientados a reducir la duración del ciclo de fabricación, mejorar la calidad de producto, reducir y eliminar el papeleo, reducir los tiempos muertos, y potenciar el trabajo de los responsables de operaciones en la planta de producción.

Todos los proveedores hablan de las posibilidades de integración que presenta un producto, pero no siempre es fácil conseguir una integración suficiente y útil. En entornos Windows, especialmente, la utilización de los estándares Microsoft COM/DCOM, Active X, y OPC proporciona una tecnología eficaz para conseguir una integración real entre diferentes aplicaciones desarrolladas bajo los mismos estándares. Los principales fabricantes de software SCADA, con una opción clara por Microsoft, disponen de versiones que suponen un punto de inflexión respecto a versiones anteriores y que permiten aprovechar al máximo estas tecnologías.

COM / DCOM

El estándar **COM**, *Component Object Model*, de Microsoft permite que una aplicación utilice funcionalidades de otra aplicación residente en la misma computadora, ello se hace incorporando a la aplicación principal objetos software propios de la otra aplicación. **DCOM**, *Distributed COM*, supone extender el estándar COM a sistemas formados por redes dónde los objetos utilizados en una aplicación pueden corresponder a aplicaciones remotas, residentes en alguna computadora de la red.

ActiveX

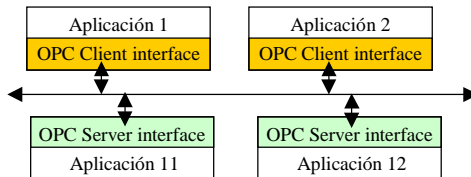
Incorporar un **control ActiveX** en una ventana de una aplicación SCADA, estableciendo los enlaces necesarios entre las variables de la aplicación y las del control ActiveX, supone añadir un objeto, con código asociado, que realiza una determinada función y que aparece totalmente integrado dentro de la aplicación. En el mercado existen numerosos proveedores que proporcionan librerías específicas de controles ActiveX, que pueden incorporarse a una aplicación permitiendo desarrollar rápidamente y con seguridad aplicaciones provistas de numerosas funcionalidades obtenidas de terceros. Algunas, habituales en aplicaciones Windows, son: el calendario, barra de progreso, etc.

La adopción de la tecnología ActiveX por parte de un software SCADA lo convierte literalmente en un contenedor de controles ActiveX. Diversos proveedores de SCADAs ofrecen directamente, o a partir de terceros, los denominados módulos Add-on. Un **Add-on** es, en definitiva, un controlador ActiveX que se integra en una aplicación y le añade las funcionalidades de que dispone. Diversos productos SCADA admiten, por ejemplo, Add-on para análisis estadístico, SPC. Con un Add-on de SPC, el desarrollador de un

proyecto de supervisión y control dispone de una gama de controles para realizar seguimiento estadístico. En función de las especificaciones con las que trabaje, incorporará aquellos que sean más indicados y en la forma en que se precise.

OPC

El OLE (*Object Linking and Embedding*) for *Process Control*, **OPC**, corresponde a un conjunto de especificaciones basadas en los estándares de Microsoft (COM, DCOM, OLE *Automation*, y Active X) que cubren los requerimientos de comunicación industrial entre aplicaciones y dispositivos, especialmente en lo que se refiere a la atención al tiempo real. Estas especificaciones se mantienen a través de la *OPC Foundation*, y pretenden ser un conjunto de especificaciones técnicas no-propietario que define un conjunto de interfaces. Así, un servidor OPC es una aplicación software que sirve datos a diferentes clientes OPC. Un servidor OPC puede proporcionar datos a cualquier cliente OPC ya que trabajan con los mismos estándares.



• Fig. 3-4 Clientes y servidores OPC.

En la Fig. 3-4 vemos un conjunto de cuatro aplicaciones que disponen de interface de comunicaciones según el estándar OPC. Cada una de las aplicaciones 1 y 2 pueden intercambiar datos con las aplicaciones 11 y 12. Una futura Aplicación 3, provista de interface OPC cliente, también podrá comunicarse con las aplicaciones 11 y 12 sin ninguna modificación en estas dos últimas.

Conectividad remota a través de Internet

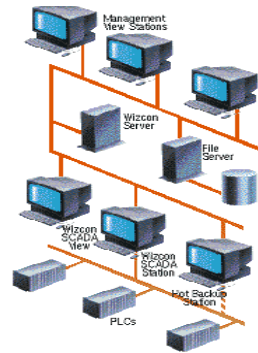
Se ha visto que la conectividad en *intranets* es una de las características presentes en todo SCADA y a través de ella se asegura el acceso a datos de proceso desde diferentes departamentos. En cuanto al acceso a Internet bastantes proveedores incluyen funcionalidades de cliente y de servidor de

Web en sus paquetes, pero por su carácter extracorporativo, hay dos tendencias. La primera, la de los paquetes que permiten únicamente leer datos (mediciones, contadores, entradas, salidas, etc.) y la segunda, los que además posibilitan su modificación (consignas, señales de mando). De todas formas, cada vez más, se dispone de tecnología fiable para transmitir datos con seguridad vía Internet, y un número creciente de productos aceptan tanto la lectura de datos como la modificación de parámetros o de señales de mando.

Algunos SCADAs permiten incluso que cada máquina remota pueda configurarse en función de sus recursos y de las necesidades del usuario, y establecer en cada caso qué funciones son realizadas por el cliente y cuales se realizan en el servidor. Así, en cualquier momento y en cualquier lugar, un técnico de proceso o un responsable de planta puede conectarse, a través de un simple PC portátil, al servidor Web de su sistema SCADA y conocer en tiempo real el estado del proceso, y en algunos casos actuar sobre él.

Arquitectura y Soluciones

Los software SCADA deben ser capaces de responder a las necesidades de diversos sistemas de control. Desde los pequeños que utilizan un solo PC conectado a un autómata programable, hasta los grandes sistemas con control distribuido y que deben responder a niveles de seguridad elevados. Por ello, cada proveedor de sistemas SCADA dispone de una gama de productos para responder a esta amplia demanda del mercado, y con unos precios también adaptados a la envergadura del sistema a supervisar. Véase el ejemplo de la Fig. 3-5 correspondiente a una arquitectura multinodo con productos de un fabricante único.



• Fig. 3-5 Arquitectura SCADA multinodo. Wizcon.

Al plantear un sistema de supervisión y control es necesario establecer cuales son las diferentes estaciones de trabajo que debe incluir el sistema, y que operativa debe realizarse en cada una de ellas, teniendo en cuenta tanto los aspectos de atención al proceso, como los de explotación y análisis de los datos recogidos propios de ingeniería, calidad, o gestión.

En cualquier producto SCADA, es normal que el módulo base cubra las funciones de control, gestión de comunicaciones con los dispositivos

conectados al bus de campo, interface de usuario y registro de información para su análisis posterior. Un segundo módulo que ofrecen varios fabricantes es una estación redundante que actúa como un sistema activo de **backup (salvaguarda)** automático. Cuando el servidor principal de control queda fuera de servicio, la estación de *backup* toma el control de la situación, de forma automática y transparente, convirtiéndose en el nuevo servidor de control y partiendo del mismo estado en que se encontraba la estación servidora averiada.

Cuando el sistema SCADA debe integrarse en el sistema de información de empresa, los datos recogidos por el servidor de control deben estar a disposición de diferentes personas de las áreas de gestión para realizar tareas de análisis y toma de decisiones. Para evitar que las funciones de servidor de datos perjudiquen a las de servidor de control, los fabricantes ofrecen estaciones específicas servidoras de datos, mejorando la velocidad de trabajo, la seguridad y la fiabilidad en el manejo de la información.

Por lo general, los software de control ofrecen una arquitectura cliente-servidor distribuida, con múltiples servidores, y la posibilidad de configurar los diferentes clientes en función de sus necesidades y capacidades. Asimismo, la actualización de datos en pantalla puede limitarse, normalmente, a cuando varíen, así se minimiza el tráfico en la red sin perder calidad de información en pantalla.

Desarrollo de una aplicación SCADA

Es conveniente tener en cuenta que todos los software SCADA son programas que presentan un doble perfil de usuario. Por un lado, las ingenierías y departamentos de desarrollo, encargados del diseño y generación de aplicaciones SCADA a medida de cada proceso por lo que se requiere **una licencia de desarrollo**. Por otro lado los operarios y encargados del proceso, serán los usuarios de las aplicaciones creadas por los primeros y para ello necesitarán de **licencias de run-time**. Comercialmente, las licencias de desarrollo y de *run-time* tienen tratamientos diferenciados que dependen de la estrategia comercial de cada fabricante o proveedor.

Para iniciar el desarrollo de una aplicación SCADA es importante tener establecido en primer lugar:

- Grupos de usuarios, según los que se crearán diferentes perfiles de usuario, con diferentes privilegios de acceso al SCADA y al proceso.
- Señales de entrada y salida y sus requerimientos de adquisición, visualización (y/o animación) y registro. Muchos fabricantes disponen de tarifas que varían en función del número de *tags* a utilizar.
- Variables de control, para su visualización y parámetros asociados.
- Avisos y alarmas: su importancia.

A partir de este conocimiento estableceremos las especificaciones del sistema SCADA y plantearemos su **estructura** a partir de:

- Establecer cuales son las diferentes estaciones de trabajo que deben constituir el sistema.
- Cual es la operativa a realizar en cada una de ellas, y
- Distribución de los datos en el conjunto de la red.

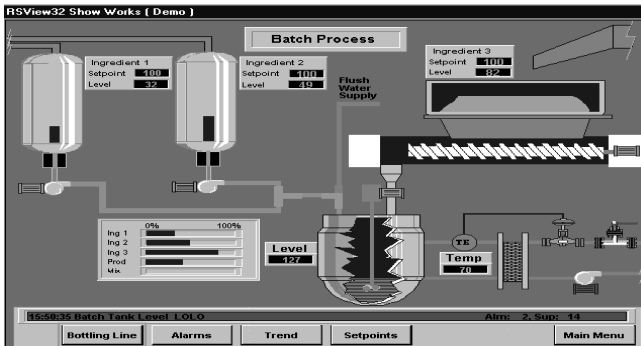
En la actualidad los proveedores disponen módulos, o aplicaciones, para responder a las diferentes estructuras y será tarea de la ingeniería de desarrollo ofrecer la mejor alternativa al cliente.

En cuanto a las diferentes utilidades que se ofertan, éstas pueden decantar la elección de un paquete u otro. Por lo que se refiere a facilidades de programación, algunos entornos sólo disponen de un lenguaje propietario, aunque la tendencia es a integrar VBA (*Visual Basic for Applications*). Otro aspecto importante es el disponer de utilidades de simulación y *debug*, que permitan desarrollar y hacer la puesta a punto de una aplicación en poco tiempo y con seguridad. También es de interés la posibilidad de configuración en línea, pues permite hacer modificaciones en una aplicación activa e incorporarlas directamente, sin necesidad de detener la aplicación y relanzarla posteriormente.

Paquetes comercializados en España

Tomando en consideración la gama de productos y servicios que ofrecen, en España existen diversos tipos de proveedores/fabricantes de sistemas SCADAs. Unos son de ámbito internacional y se dedican a desarrollar y suministrar solamente soluciones SCADA con la correspondiente gama de

módulos complementarios: entre ellos están Ci Technologies (Citect), Iconics (Genesis), Intellution (FIX), National Instruments (Lookout, Bridge View), Orsi (Cube), PC Soft International (Wizcon), USDATA (FactoryLink), y Wonderware (InTouch), desarrollando preferentemente para plataformas PC. Otros son suministradores de PLCs y controladores como GE Fanuc (Cimplicity), Rockwell Software (RSView) y Siemens (WinCC). Se trata de suministradores de soluciones completas de automatización y control con productos propios. Finalmente, un tercer grupo corresponde a ingenierías que han desarrollado su propio entorno y lo ofrecen junto con el desarrollo y puesta en marcha.



• Fig. 3-6 Supervisión y control de proceso Batch. Rockwell Software.

En la Tabla 3-1 se incluyen aquellos suministradores que aparecen en el informe sobre software de control publicado por la revista Automática e Instrumentación de Septiembre de 1999 [5]. La tabla incluye, además de empresas fabricantes que suministran sus propios productos SCADA, empresas comerciales que actúan de distribuidores en España e ingenierías que configuran e instalan determinados paquetes, normalmente orientadas a ofrecer soluciones verticales.

La tabla presenta, para cada producto, nombre del suministrador y fabricante, lenguajes de programación que pueden utilizarse para añadir código específico, el tipo de enlace utilizable para comunicarse con otras aplicaciones, y el precio mínimo de la versión de desarrollo, así como el precio mínimo de la versión de *run-time* (no personalizable, solo para ejecución).

Puede conseguirse información actualizada de estos productos a través de Internet, accediendo directamente a la Web de cada fabricante o accediendo a Webs directorios [6].

CAPITULO 3: SCADAS COMERCIALES

Producto	Suministrador / Fabricante	lenguajes programación	Tipo de Enlace	precio min desarrollo	precio min run-time
Aimax	Desin Instruments, S.A./ T.A. Engineering (USA)	VB, C	OLE, DDE, ODBC	183.000	145.000
All-Done Scada	Freixas i Ros, S.L./ Freixas i Ros, S.L. (E)	propio	DDE	178.000	178.000
All-Done/ BDE	Freixas i Ros, S.L./ Freixas i Ros, S.L. (E)	propio		175.000	40.000
Automainge	Automainge/ Automainge (E)			consultar	consultar
Bridge View	National Instruments / National Instruments (USA)				
Captor	Sisteplant / Sisteplant (E)	VB	ASCII, triggers	consultar	consultar
Checksys Objects	M2R,S.A./ M2R (E)	propio	NetDDE, ficheros, JDBC/SQL	consultar	consultar
CIC	CJM Software, S.A./ CJM Software, S.A. (E)	propio (tipo PLC)	ficheros y memoria compartida	120.000	120.000
Cmi NT	Siemens, ControlMatic Ibérica, S.A./ Idem (E)	C++, VB	DDE, ficheros	300.000	250.000
Cube	ORSI España,SA/ ORSI (I)	IIC1131-3, ladder, iter, C, VB, Fortran, Pascal, VC	ODBC, COM/DCOM, via CUBE-TRACK y via MESAD	600.000	300.000
Digivis	Elsag Bailey Hartmann & Braun, S.A./ Digivis	propio	DDE, OPC	consultar	consultar
Factory Suite 2000	Logitek, S.A./ Wonderware (USA)	propio	ActiveX, DDE, OCX, ODBC	98.000	98.000
Factorylink ECS	Medición y Control, S.A./ USDATA (USA)	Power VB, propio, C, C++	driver nativo, OPC, DDE, bases de datos relacionales	198.000	198.000
FIX DMACS 7.0	Computer Integrated Manufacturing,S.A. / Intellution (USA)	propio	DDE, ODBC, OLE	consultar	consultar
FIX Dynamics	Computer Integrated Manufacturing,S.A. / Intellution (USA)	VBA	ActiveX, ADO, DAO, ODBC, OLE	consultar	consultar
G2	Gensym, s.r.l. / ORSI España, S.A.	propio	Telewindows, G2 Gateway	consultar	consultar
Gefip	Mondragón Sistemas / Mondragón Sistemas (E)	Visual C++, VB	ficheros	consultar	consultar
Genesis CE (Pocket)	Aplein Ingenieros, S.A. / Iconics (USA)			consultar	consultar
Genesis32	Aplein Ingenieros, S.A. / Iconics (USA)	VBA	DDE, OPC, ODBC	consultar	consultar
Glassmaster Control System	Mediterranean Import Trade, S.L./ Precise Control Systems (USA)	VB, C++	DDE, ODBC, OLE	consultar	consultar
GPAO-SAC	Sistemas Avanzados de Control, S.A./ Sistemas Avanzados de Control (E)	VB, Visual C++	ODBC	consultar	400.000
IGSS32	AN Consult España, S.L./ 7-Technologies A/S (DK)	configuración programa	DDE, OLE, OCX, Automation, ODBC	115.000	336.000
Ingeniería de Aplicaciones	Ingeniería de Aplicaciones, S.A./ Ingeniería de Aplicaciones, S.A. (E)	propio	DLL, ODBC, OLE	consultar	consultar

CAPITULO 3: SCADAS COMERCIALES

Producto	Suministrador / Fabricante	lenguajes programación	Tipo de Enlace	precio min desarrollo	precio min run-time
Intellution	Block Servicios y Proyectos, S.A./ Intellution (USA)	VB, VC	API, DDE	280.000	200.000
Intouch	Logiteck,S.A./ Wonderware (USA)	propio		consultar	consultar
JUMO SVS-2000	Jumo Sercon, S.A./ JUMO (D)				480.000
Lookout	National Instruments / National Instruments (USA)				
Monitor Pro	Schneider Electric/ Schneider Electric (F)	Pascal, C, C++, VB	DDE, OLE, OPC	170.000	150.000
OmronScs 2.1	Omron/ Omron (UK)	propio		consultar	consultar
P6008	Foxboro / Foxboro Scada (I)	gráfico C++, SQL 4G	ODBC direct core, interface TCP/IP	1.000.000	1.000.000
Pack-Centre	Agecontrol / Agecontrol (E)	C++	SQL, TCP/IP		
PCVUE 32	Rasesa Automatismos, S.L./ ARC Informatique (F)	Scada Bsic	DDE, NETDDE, OLE2, ODBC, SQL	consultar	consultar
Plantscape	Honeywell,SA./ Honeywell (USA)	C, VB	ODBC, OPC	1.000.000	500.000
Proasis DAS-Win	Desin Instruments, S.A./ Desin Instruments, S.A. (E)		fichero ASCII	(1)	(1)
Processyn	OEM de Equipos Eléctricos, S.A./ Logique Industrie (F)	propio	DDE	700.000	60.000
Pyman	PYSSA / PYSSA (E)	VB, Vjava		400.000	consultar
Quick SPC	Marposs, S.p.A./ Marposs, S.p.A. (I)	C	BCD, relés, LAN	consultar	consultar
RSView32	Rockwell Automation / Rockwell Software (USA)	VBA integrado, C++, VB via COM/DCOM	DDE, ODBC, OLE, OPC, ActiveX, COM, DCOM	188.000	113.000
Scada-VS	Foxboro / Foxcada (Australia)	gráfico, C++, bloques ladder logic, secuencial	ODBC direct code, interface TCP/IP	3.000.000	3.000.000
Symcont	Adasoft,SA.(E)	C++, Java, Rexx, VB	COM/DCOM (DNA), CORBA	consultar	consultar
Tactician T3500	Eurotherm España / Eurotherm Proc. Aut. (UK)	propio	SQL, ODBC, DDE, OLE	consultar	consultar
TCS01	Sistemas Eléctricos Personalizados, S.L./ S.E.P. (E)	configurable	-	consultar	80.000
TD-Pro	Pertegaz,S.L. / (I)	propio	DLL, SQL	consultar	consultar
Test Point	Instrumentos de Medida, S.L./ Keithley (USA)	propio	DDE, DLL, OLE	200.000	gratuita
TQWIN	Vertex Serveis Informàtics, S.L./ (E)	VB		150.000	150.000
WizFactory	Wizcon Soft España, S.L./ PC Soft International, Ltd (Israel)	propio, Rexx, VB, C++, Delphi,	DDE, ODBC, SQL Interface	252.705	138.890
Xfactory (MES)	Medición y Control, S.A./ USDATA (USA)	VB	conector USDATA, OPC, BD relación.	consultar	consultar

• Tabla 3-1 SCADAS comercializados en España.

Detección de fallos

Introducción

Como ya se ha comentado en el capítulo 1, una parte importante de la supervisión se centra en la detección y aislamiento de los fallos y en dar información sobre su origen y magnitud. La detección y el diagnóstico de fallos constituyen una parte fundamental de la supervisión. En este capítulo nos centraremos en la fase de detección.

Los diversos métodos y técnicas utilizados para detectar las situaciones de mal funcionamiento pueden clasificarse de acuerdo con la naturaleza del conocimiento disponible sobre el proceso en:

- Detección basada en métodos analíticos: Utiliza solamente herramientas matemáticas o analíticas (modelos matemáticos precisos, procesado de señales) para realizar sus funciones.
- Detección basada en conocimiento: Incluye herramientas de la Inteligencia Artificial. Por ejemplo, representación simbólica de señales, o modelos cualitativos incluyendo imprecisión o incertidumbre.

A su vez, dependiendo de la organización del conocimiento distinguimos entre:

- Detección basada en modelos: Los fallos son detectados a partir de la comparación del funcionamiento del sistema supervisado con el de un modelo del mismo, que representa el funcionamiento normal.
- Detección basada en señales o síntomas: En este caso los fallos se detectan directamente a partir de las señales procedentes del proceso, después de un procesado de las mismas.

En las siguientes secciones se expondrán en primer lugar las técnicas integradas actualmente en los sistemas SCADA y a continuación otras técnicas más incipientes para cuya implementación deberá recurrirse a la integración de recursos con los sistemas de monitorización actuales.

Sistemas SCADA y Detección de fallos

El papel de los sistemas SCADA en la detección de fallos puede ir desde el simple disparo de alarmas (tratado en el capítulo 2) hasta la utilización de técnicas más sofisticadas ya integradas o susceptibles de ser integradas. En este segundo caso existen en el mercado numerosos paquetes (capítulo 3) que incorporan tanto facilidades de control estadístico (SPC, *Statistical Process Control*) como tecnología de sistemas abiertos (DDE, OLE, COM/DCOM, ActiveX y OPC) que permite una fácil integración con otras aplicaciones. Esto debe permitir utilizar otras técnicas y herramientas como las descritas a lo largo de las secciones posteriores de este capítulo.

Métodos estadísticos de detección: SPC/SQC

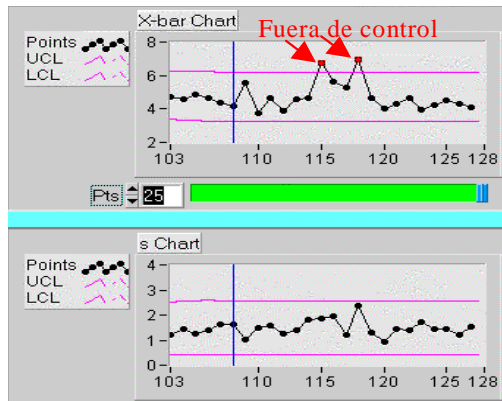
La utilización de técnicas estadísticas para detectar variaciones de calidad o de producción data de principios del siglo XX. La evolución de estos trabajos iniciales ha evolucionado hacia el llamado Control Estadístico de Procesos y de calidad (**SPC**, *Statistical Process Control* y **SQC**, *Statistical Quality Control*). Diferentes herramientas han aparecido con el propósito de ayudar en estas tareas como: gráficos de Control (*Control Charts*), métodos de comparación de trazas (*Comparison Plot*), técnicas de dispersión (*Scatter Plot*) o los histogramas. Ver [7] para más información.

Uno de los principales propósitos del SPC es el seguimiento de las variables de proceso con el objetivo de diferenciar aquellas variaciones aleatorias, y por tanto incontrolables, de las variaciones controlables, debidas a cambios en el

proceso (maquinaria, personal, métodos, entorno, sistema de medida) o en el producto y que por tanto deberán ser corregidas. Se trata de un método de detección de fallos basado en la combinación de técnicas estadísticas y probabilísticas para establecer un modelo de comportamiento normal del proceso caracterizado por las medidas disponibles

La base del control estadístico reside en la utilización de medidas pasadas para determinar los límites de variaciones futuras de nuestro proceso en ausencia de anomalías. De esta forma, cuando las variaciones de las futuras medidas caigan dentro de los límites previstos se dice que el proceso está controlado (o estadísticamente controlado), mientras que cuando las variaciones observadas salgan de los límites establecidos será síntoma de anomalía en el funcionamiento del proceso.

La metodología a emplear consiste en caracterizar las variaciones presentes en medidas en régimen permanente a partir de dos parámetros básicos: su **localización** (media, mediana) y su **variación** (desviación típica, rango). La aleatoriedad de dichas variaciones se asocia a funciones de distribución de probabilidad. En este sentido es habitual la caracterización de variaciones en medidas de **variables** continuas en régimen estacionario (temperaturas presiones, etc.) mediante una función de distribución normal mientras que las medidas sobre **atributos** (número de fallos en una pieza, piezas buenas sobre una muestra, etc.) se caracterizan a partir de funciones binomiales o de Poisson.



• Fig. 4-1 Gráfico de Control (LabWindows SPC Toolkit)

En el caso de una distribución normal, la estimación de la media (\bar{x}) y la desviación típica (σ) a partir muestras pasadas de una variable permite establecer que el 99.73% de la población, en condiciones normales se situará en una zona comprendida entre $[\bar{x} - 3\sigma, \bar{x} + 3\sigma]$. Son estos límites los que permiten diferenciar entre **variaciones comunes** y **variaciones especiales o asignables**.

Se conoce como **gráficos de control** (*Control Charts*) a las representaciones gráficas de nuevas medidas acompañadas de la media (\bar{x}) y los límites superior (UCL, a $\bar{x} + 3\sigma$) e inferior de control (LCL, a $\bar{x} - 3\sigma$). La Fig. 4-1 muestra un ejemplo dónde se indican los puntos fuera de control. Existen múltiples variantes de gráficos de control para adecuarse a las condiciones de cada problema. De forma similar pueden crearse diferentes gráficos atendiendo al tipo de distribución (P y C *Charts* por ejemplo) o agrupando muestras y caracterizándolas por su localización y/o variación para su representación (se obtiene de esta forma los llamados *Mean and Range Control Charts* por ejemplo). Para más información ver [7].

Detección basada en métodos analíticos

A continuación se describen otros métodos para la detección de fallos cuya implementación en un sistema SCADA va ligada a la tecnología de sistemas abiertos, tal y como se ha dicho en la sección anterior.

Detección basada en señales

En este caso se trata de extraer de las señales procedentes del proceso la máxima información posible sobre los fallos que deben detectarse. Para llevar a cabo la detección se necesita conocer la relación entre las señales (**síntomas**) y los posibles fallos que pueden afectar al proceso. Esta metodología puede considerarse como la más primitiva de las utilizadas. El tipo de procesado utilizado dependerá del tipo de señales y del conocimiento sobre el proceso. Entre las herramientas utilizadas podemos destacar las técnicas estadísticas, probabilidades, análisis temporal y frecuencial o el reconocimiento de patrones. El SPC, descrito en la sección anterior, entraría en este conjunto de técnicas.

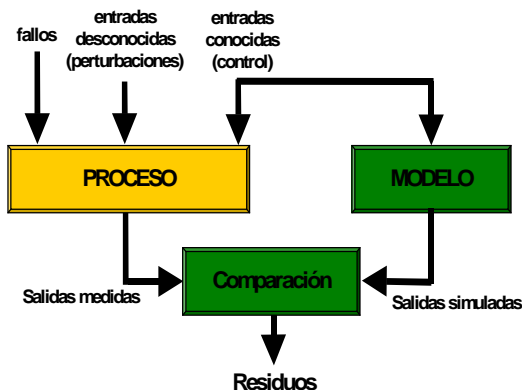
La elección de la herramienta a utilizar dependerá lógicamente de las características “interesantes” de cada señal para indicar la presencia de

determinados fallos. Estas características interesantes pueden ser tan diversas como el propio valor de la señal, su derivada, su espectro frecuencial o la similitud con un patrón previamente definido. La utilización de relaciones directas entre las señales medidas (o funciones de éstas) y los fallos presentes en el proceso requiere un conocimiento del mismo que sólo puede adquirirse a través de la experiencia, siendo ésta la mayor dificultad de estos métodos.

DetECCIÓN basada en modelos analíticos

Estos métodos se basan en la utilización de modelos matemáticos (lineales o no lineales) para generar señales adicionales que se comparan con las señales medidas. Este procedimiento se conoce con el nombre de **redundancia analítica**.

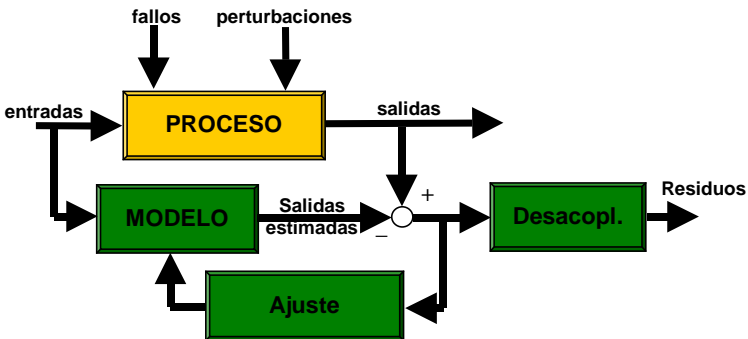
La tarea principal de los métodos de detección de fallos basados en modelos es la generación de residuos. Los **residuos** representan cambios o discrepancias en el proceso y se obtienen a partir de variables o de parámetros del mismo. Para obtener los residuos, los datos medidos del proceso se comparan con los obtenidos del modelo (ver Fig. 4-2). Los datos procedentes del modelo representan las condiciones normales de funcionamiento considerando que las entradas conocidas son las mismas que en el proceso real.



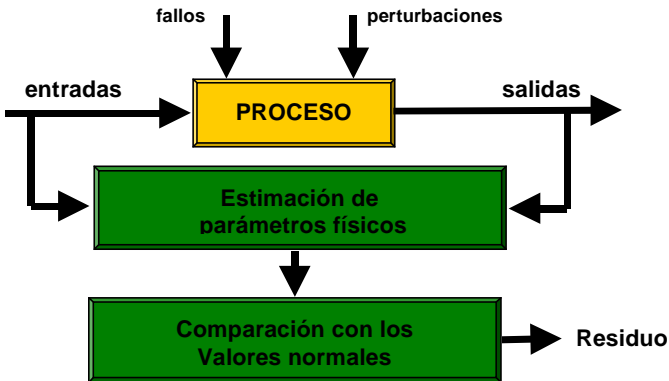
• Fig. 4-2 Detección basada en modelos analíticos.

Los residuos pueden obtenerse de diversas maneras en función del modelo y método utilizados:

- La **generación de residuos** basada en **observadores** (ver Fig. 4-3) utiliza observadores o filtros de Kalman para estimar variables de interés, a partir de las entradas y salidas medidas del proceso. Los errores entre los datos reales y las estimaciones (o alguna función de los mismos) se utilizan como residuos.



• Fig. 4-3 Utilización de observadores para la generación de residuos.



• Fig. 4-4 Estimación de parámetros.

- La **estimación de parámetros** (ver Fig. 4-4) se basa en la suposición que los fallos se producen en los parámetros físicos del

sistema (masa, rozamiento, resistencia...). Los parámetros matemáticos del sistema se estiman en línea utilizando un modelo del sistema. La correspondencia entre los parámetros matemáticos del modelo y los parámetros físicos del sistema permite estimar los segundos y compararlos con los de referencia, obtenidos a partir del modelo en ausencia de fallos.

Detección basada en conocimiento

A diferencia de los métodos analíticos, los métodos basados en conocimiento utilizan herramientas de la Inteligencia Artificial (IA) ya sea en los modelos utilizados o en la evaluación de las señales. Estos métodos son los más indicados cuando no es posible disponer de un modelo analítico completo y preciso del proceso supervisado. Entonces debe recurrirse a la representación del conocimiento mediante otras técnicas. Al igual que en los métodos analíticos podemos distinguir entre aquellos que utilizan un modelo del sistema y los que se sirven directamente de las señales medidas del proceso. En este caso, sin embargo, la distinción puede no ser del todo clara puesto que el concepto de **modelo cualitativo** puede ser interpretado de una forma muy amplia. Aun así, en esta sección se intentaran describir brevemente estas dos aproximaciones

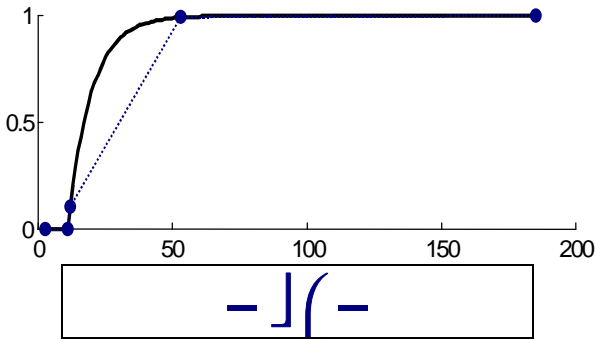
Detección basada en síntomas

Esta aproximación puede considerarse como una evolución de la detección basada en señales. En este caso se utilizan técnicas de **cualificación**, **abstracción** o **representación simbólica** de forma que el resultado final es una representación de las señales próxima a la percepción humana sobre las mismas. De este modo la posterior identificación de los síntomas observados con los posibles fallos resulta una tarea más sencilla.

Para conseguir este objetivo, normalmente se combinan herramientas analíticas de procesamiento de señal con herramientas propias de la IA. Entre las técnicas más utilizadas podemos destacar:

- **Cualificación** del valor de la señal mediante la división de su rango de valores y la asignación de etiquetas a cada una de las divisiones. Por ejemplo, *Negativo*, *Próximo_a_cero*, *Positivo*.

- Obtención de **tendencias** que expresen el comportamiento de la señal. Por ejemplo, *Subir*, *Mantenerse*, *Bajar* o *Oscila*, *No_Oscila*.
- Utilización de **ventanas temporales** de observación, que permitan la posterior cualificación u obtención de tendencias no a partir de un solo valor de la señal sino a partir de su evolución en un periodo de tiempo.
- Representación mediante **episodios** de la evolución de la señal. Dividiendo el tiempo en intervalos donde no hay variaciones interesantes e instantes de cambio. Por ejemplo, la representación de una respuesta de primer orden podría ser la de la Fig. 4-5.



• Fig. 4-5 Representación simbólica mediante episodios.

En cualquier caso, el objetivo final siempre es el mismo: separar (abstraer) de las señales medidas sólo aquellas características útiles para la detección de los fallos. Las herramientas a utilizar y los resultados (representación) obtenidos siempre deben estar en función del conocimiento disponible sobre las propias señales y sobre el comportamiento del proceso (relaciones entre los síntomas y los fallos). Algunas de las herramientas utilizadas, como las redes neuronales o los conjuntos difusos, se describen en el capítulo siguiente.

Detección basada en modelos cualitativos

La utilización de modelos cualitativos esta motivada por la imposibilidad de disponer de modelos matemáticos precisos debido a la complejidad estructural o de comportamiento del proceso supervisado. Existen numerosas

aproximaciones, desde puntos de vista muy distintos, al modelado y simulación cualitativos [18].

Los modelos cualitativos pueden utilizarse en el mismo sentido que los modelos analíticos, para comparar las salidas del proceso real con las de la simulación (comportamiento normal) y de esta forma detectar las posibles discrepancias y, en consecuencia, los fallos. En este caso debe tenerse en cuenta que las salidas de la simulación no son señales numéricas. Aquí podemos distinguir, como mínimo, dos enfoques distintos:

- El resultado de la simulación puede consistir en envolventes (conjuntos de trayectorias) que delimiten el comportamiento correcto de la señal; entonces, cualquier desviación respecto a éstas indica una anomalía (fallo) en el proceso.
- El resultado de la simulación puede consistir en descripciones simbólicas de señales como las comentadas en la sección anterior. En este caso es necesario obtener la misma descripción simbólica de las señales medidas para poder establecer comparaciones y detectar diferencias.

En otros casos, el modelo puede consistir en relaciones causales (entre componentes o entre comportamientos) o en diagramas de estados del sistema que ya incluyan la descripción de las situaciones de fallo. Entonces las señales medidas del proceso se utilizan para establecer la situación actual del proceso a través del modelo. Esta situación, entonces, puede corresponder tanto a una situación normal como a una situación de fallo.

Detección y Diagnóstico

En el capítulo 1 se ha establecido la diferencia teórica entre la detección y el diagnóstico de fallos. Esta diferencia, sin embargo, como ha podido verse en este capítulo, algunas veces no existe o es muy difícil de establecer en la práctica. Muchas veces, dependiendo de las técnicas utilizadas, la propia detección del fallo ya comporta su diagnóstico. Esto puede suceder utilizando métodos analíticos pero es en los métodos basados en conocimiento donde se pone de manifiesto de forma más clara.

En los métodos analíticos, los síntomas o residuos pueden indicarnos directamente el origen del fallo, con lo cual el diagnóstico puede hacerse directamente. Sin embargo, pueden darse conflictos (diagnósticos múltiples) que requieran algún tipo de decisión inteligente o razonamiento para su resolución.

Los métodos de detección basados en conocimiento pueden incluir directamente algún tipo de herramientas inteligentes que permitan determinar el origen de los fallos simultáneamente a su detección. Este sería el caso de la utilización de síntomas más directos (por ejemplo histogramas en los que cada zona indique un estado o situación del proceso) o modelos cualitativos que incluyan las situaciones de fallo (por ejemplo diagramas de estado).

En cualquier caso, el diagnóstico de fallos requiere establecer correspondencias entre los síntomas o residuos y el origen de los fallos. Esta tarea conlleva la utilización de herramientas más o menos sofisticadas propias de la IA, que pueden ir desde simples tablas a sistemas expertos utilizando razonamiento difuso.

En el capítulo siguiente se comentaran algunas de estas herramientas y se presentará su utilidad tanto para el **diagnóstico** de fallos como para el último paso que cierra el lazo de supervisión, es decir, la determinación de acciones correctoras o **decisión**.

Diagnóstico y Decisión

Introducción

En este capítulo se tratarán los temas relacionados con el diagnóstico de fallos y con la determinación de las acciones correctoras (decisión). Si bien todavía pueden utilizarse métodos puramente analíticos, está claro que estas tareas requieren muchas veces la utilización de métodos y herramientas propios de la Ingeniería del Conocimiento, necesarios tanto para la toma de decisiones como para la manipulación de conocimientos que no siempre son fáciles de representar. Es por ello que la mayor parte del capítulo se dedica a la descripción de diversas metodológicas propias de la IA, intentando mostrar su utilidad para lo que podemos llamar **Supervisión Experta**.

Podemos decir que para desarrollar y llevar a cabo un sistema de supervisión experta deben ser resueltos varios problemas; desde el punto de vista de la ingeniería del **conocimiento** a escala abstracta estos problemas están relacionados principalmente con la adquisición, representación y procesado del conocimiento, la comunicación hombre - máquina (diseño y desarrollo de la interfaz), la comprobación teórica de la consistencia, integridad y exactitud del conocimiento, así como su validación práctica en casos de prueba y la mejora permanente de la calidad del sistema desarrollado y adaptación a ambientes cambiantes.

En la siguiente sección se presenta de forma general el problema del diagnóstico. A continuación se presenta la utilización de técnicas estadísticas, como soporte a la decisión en SPC. Seguidamente se introducen diversas técnicas de la Inteligencia Artificial (IA) como soporte al diagnóstico basado en el conocimiento del proceso. Estos métodos también son utilizados en la fase de decisión, que se discute al final del capítulo.

Diagnóstico de fallos

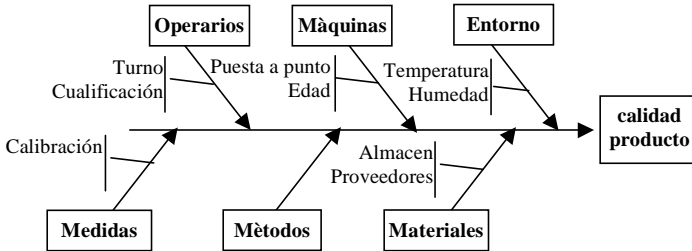
El diagnóstico de fallos consiste principalmente en la determinación del origen y la magnitud de los mismos. Una vez hemos detectado la presencia de un fallo, debemos conocer sus causas. Para esta tarea pueden utilizarse diversas estrategias [17].

Si la fase de detección consiste en la generación de residuos o de síntomas, entonces el diagnóstico debe consistir en la evaluación de los mismos. Los métodos analíticos de diagnóstico (evaluación de residuos) se basan fundamentalmente en la utilización de **umbrales**, tratados ya en la sección dedicada a las alarmas del capítulo 2. El enfoque analítico del diagnóstico de fallos, sin embargo, topa con la necesidad de disponer de modelos analíticos suficientemente precisos y completos del proceso, lo cual es en ocasiones muy difícil o imposible. Por otra parte, la forma más natural de establecer la correspondencia entre los residuos o síntomas y los fallos correspondientes es mediante relaciones lógicas, listas, árboles o tablas de decisión, árboles de fallos, grafos causales, reglas, sistemas expertos, utilizando métodos de aprendizaje, lógica difusa o redes neuronales, etc. Es por ello que, en la fase de diagnóstico, normalmente es el enfoque basado en conocimiento, utilizando métodos y herramientas de la IA, el que ofrece mayores posibilidades.

Conocimiento del Proceso y relaciones causa - efecto

El conocimiento del proceso y de las dependencias entre subprocesos o la influencia del operario y los materiales son vitales para el reconocimiento del origen de los fallos. Por este motivo es importante el análisis detallado del proceso. A menudo, en industrias de manufactura, se recurre con este propósito a los diagrama de flujo de proceso, en los que se detallan estas dependencias y se localizan los puntos susceptibles de introducir variaciones en el producto final.

Las anomalías que aparecen en un producto o los fallos del proceso obedecen a relaciones de causa y efecto. Estas relaciones son difícilmente cuantificables en muchas ocasiones, por lo que se recurre a representaciones mediante los diagramas causales *fishbone* (por su parecido con la espina de un pescado) o de Ishikawa (ver Fig. 5-1).



• Fig. 5-1 Diagramas *fishbone* causa-efecto.

La utilización de estas representaciones es de gran ayuda para la definición, creación y documentación de procedimientos de diagnóstico.

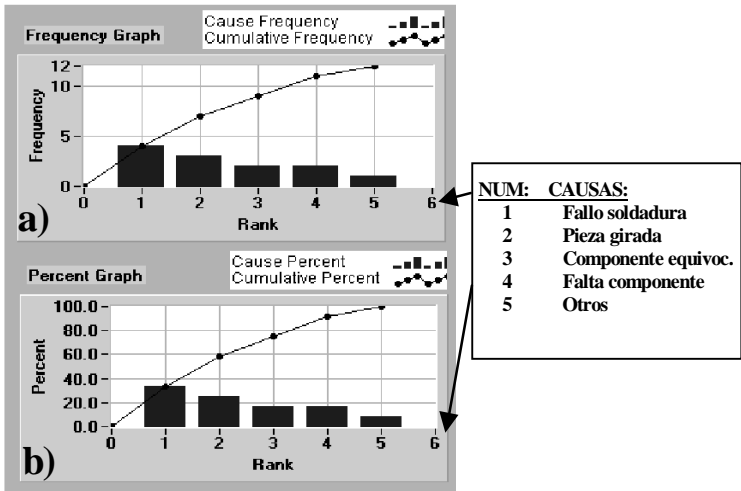
Métodos estadísticos

La aplicación de métodos estadísticos en la vigilancia de procesos ha aportado diferentes métodos de soporte al diagnóstico y la toma de decisiones. Se trata de herramientas de análisis estadístico que con una presentación visual de parámetros simples como la frecuencia de aparición de un defecto o el acumulado de éstos dan una interpretación cómoda de los datos. Estos métodos son utilizados habitualmente para analizar las anotaciones realizadas en hojas y formularios de verificación (Diagramas *Check Sheet*) en los que se marca sobre una representación gráfica el defecto mostrado en una pieza, su localización, el número de éstos o su tipología.

Algunas de estas herramientas son los llamados diagramas de Pareto, los gráficos estratificados (*Stratified Graph*) o los diagramas de barras. Se trata en muchas ocasiones de herramientas integradas en los módulos **SPC** (*Statistical Process Control*) ofertados por fabricantes de SCADAs.

Como ejemplo, el **análisis de Pareto** se basa en la consideración de que el rendimiento de un proceso puede aumentarse en un 80%, eliminando únicamente el 20% de las causas que producen su disminución. Con este

propósito se recurre a la construcción de diagramas que permiten identificar las causas más frecuentes de fallo. Se disponen en una lista los defectos a analizar junto con el total de observaciones de cada uno de ellos en una campaña, a continuación se ordenan de izquierda a derecha las causas de fallo (en orden decreciente de observaciones realizadas) y se dibujan sobre sus verticales barras de altura proporcional al número de observaciones (ver Fig. 5-2a), o tanto por ciento (ver Fig. 5-2b), y una línea con el acumulado de las observaciones, de forma que la coordenada de la última columna represente el total de las observaciones.



• Fig. 5-2 Diagrama de Pareto (LabWindows SPC Toolkit).

Estos diagramas aportan información de conjunto en cuanto permiten comparar causas de defectos consecutivas en importancia, a la vez que ver su importancia respecto al total.

Herramientas de soporte: la Inteligencia Artificial

Esta sección está dedicada a describir brevemente algunas de las herramientas más populares de la IA utilizadas tanto para el diagnóstico de fallos como para la (ayuda a la) toma de decisiones. Estas herramientas pueden integrarse a los entornos de monitorización para configurar, junto con las herramientas propias de éstos, lo que se conoce como un entorno de **supervisión experta**. A continuación se presentan, a grandes rasgos,

estas herramientas empezando por las más simples y acabando por las últimas tendencias. Las referencias [10] a [20] ofrecen una visión mas detallada de dichas herramientas y de sus aplicaciones.

Representación de conocimiento mediante lógica

El formalismo lógico más popular es el **cálculo proposicional**, utilizado en la representación de modelos y en la especificación de propiedades de numerosos sistemas, donde el comportamiento o el estado de los elementos se caracterizan mediante dos estados estables claramente distinguidos (*Verdadero/Falso*, *1/0*). Una ventaja importante, especialmente para diseñar aplicaciones, del cálculo proposicional consiste en su semántica simple e intuitiva.

Una proposición es una sentencia finita a la que puede asignarse un valor de verdad: verdadero o falso (*V* o *F*, *1* o *0*), formada por fórmulas y conectivas lógicas. Como conectivas lógicas encontramos \neg (negación; *no*), \wedge (conjunción; *y*), \vee (disyunción; *o*), \Rightarrow (implicación; *si... entonces...*), y \Leftrightarrow (equivalencia; *si y sólo si*). Las formulas están formadas por símbolos proposicionales (formulas elementales, que pueden ser verdaderas o falsas) unidas por conectivas lógicas. La evaluación del llamado valor de verdad de una fórmula se realiza a partir del valor (Verdadero o Falso) de los símbolos proposicionales y de la siguiente tabla:

ϕ	ϕ	$\neg\phi$	$\phi \wedge \phi$	$\phi \vee \phi$	$\phi \Rightarrow \phi$	$\phi \Leftrightarrow \phi$
<i>V</i>	<i>V</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>V</i>	<i>V</i>	<i>V</i>
<i>V</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
<i>F</i>	<i>V</i>	<i>V</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>V</i>	<i>F</i>
<i>F</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>V</i>

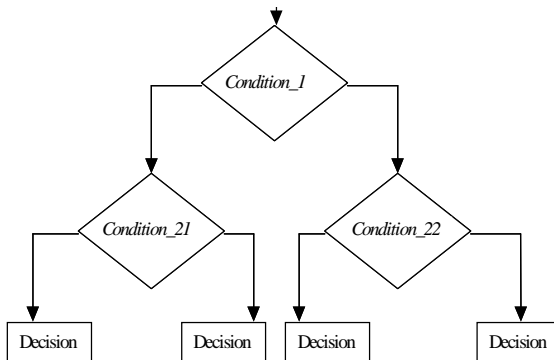
• Tabla 5-1 Conectivas lógicas.

En casos en que sea necesaria la especificación de propiedades más complejas sobre algunos o todos los elementos del sistema, el **cálculo de predicados** permite el uso de variables y símbolos funcionales, y así cumplir estas tareas gracias a su mayor poder expresivo.

Listas, tablas y árboles de decisión

El objetivo de estas tres herramientas es proveer de apoyo operacional eficaz a las tareas de decisión. Aunque son herramientas relativamente simples, permiten tomar decisiones jerárquicamente, a varios niveles, y pueden usarse para codificar procedimientos bastante complejos.

Una **lista de decisión** está compuesta por una sucesión de pares (condición binaria, acción). Su uso consiste en verificar los ítems de la lista, y cada vez que se satisface la condición se ejecuta la acción apropiada. Desde el punto de vista lógico, la parte condicional es sólo una proposición lógica, y así es evaluada como verdadera (V) o falsa (F). Su definición normalmente se formula como una pregunta acerca del estado, posición, etc., de algún dispositivo u objeto. Dependiendo de la respuesta, la acción asignada se ejecuta o no.



• Fig. 5-3 Árbol de decisión binario simple.

Un **árbol de decisión** puede considerarse como una extensión del concepto de lista de decisión. Las representaciones en árboles son estructuras que despliegan de forma intuitiva alguna decisión o procedimiento de clasificación, son leibles y fáciles de usar. Un árbol está compuesto por nodos y conexiones entre los mismos. La raíz del árbol es el nodo de entrada, y por debajo de cualquier nodo hay algunas conexiones de bifurcación. La selección de una conexión se lleva a cabo a partir de una declaración condicional asignada al nodo. La evaluación de esta condición (verdadera o falsa en el caso de árboles binarios o un valor pre-especificado en el caso de árboles más

complejos) determina la selección de la conexión. El árbol se cruza de arriba abajo, y la decisión definitiva se encuentra en la parte inferior.

Una **tabla de decisión** es una tabla que visualiza secuencias de condiciones que deben cumplirse para ejecutar alguna acción. Los conjuntos de condiciones se visualizan de forma leíble, verticalmente, como columnas de la tabla de decisión (ver Tabla 5-2), o horizontalmente, como filas de la tabla. Una forma clásica de tabla de decisión es la vertical, donde la *condición_i* especifica las condiciones a ser examinadas, y la *acción_i* define la acción a ser ejecutada. Los valores v_{ij} pueden ser + si la condición debe cumplirse para ejecutar la acción, - si la condición no puede cumplirse (si se cumple, entonces la acción no puede ejecutarse), y * (o vacío) que significa que la acción es independiente de la condición. Los valores de w_{ij} son + si la acción debe ser ejecutada, con tal de que la sucesión vertical que define las condiciones sea satisfecha, o - (o el espacio vacío) si es necesario no realizar la acción. A continuación se presenta una tabla de decisión genérica.

condición_1	v_11	v_12	...	v_1n
condición_2	v_21	v_22	...	v_2n
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
condición_k	v_k1	v_k2	...	v_kn
acción_1	w_11	w_12	...	w_1n
acción_2	w_21	w_22	...	w_2n
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
acción_m	w_m1	w_m2	...	w_mn

• Tabla 5-2 Tabla de decisión.

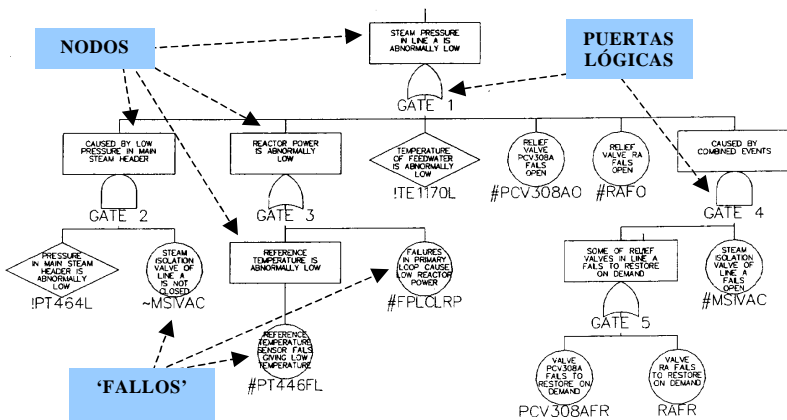
Para la ejecución de la tabla se cruza de arriba abajo la parte superior de cada columna y se verifican las condiciones verdaderas y falsas actuales. Si la forma coincide, entonces se ejecutan las acciones especificadas en la parte inferior de la columna. A continuación se analiza la siguiente columna de condiciones.

Grafos y grafos causales

Los diversos tipos de **grafos** son herramientas populares para la representación de conocimiento en IA. Una noción básica de grafo es la siguiente: consideremos un conjunto de nodos, N , que representan entidades

que pueden ser eventos, declaraciones, síntomas, variables o incluso más complejas como estructuras, teorías, etc. Entre los nodos pueden tener lugar varios tipos de relación; en la formulación básica podemos considerar simplemente un tipo, por ejemplo causalidad, dependencia física, etc. Las relaciones entre los nodos se representan mediante arcos (uniones), dirigidos (un solo sentido) o no (simétricos).

Una de las primeras utilizaciones de grafos causales consistió en el análisis de seguridad y fiabilidad mediante los llamados árboles de fallos. Un **árbol de fallos** consiste en nodos (que representan eventos) y puertas lógicas (normalmente AND y OR) para representar las relaciones entre eventos. Los eventos se conectan mediante flechas de unión. Una puerta OR representa la disyunción de condiciones que causan una salida, mientras una puerta AND representa la conjunción de condiciones que causan la salida.



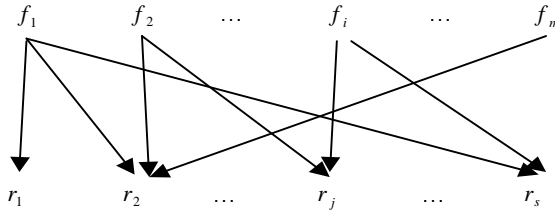
• Fig. 5-4 Árbol de fallos para diagnóstico extraído de [20].

Los **grafos dirigidos simples** representan relaciones mutuas entre fallos y residuos. La construcción básica es un grafo de dos niveles, donde el nivel superior consiste en posibles fallos y el nivel inferior en posibles residuos (observaciones). Los fallos apuntan a residuos que (normalmente) son observados si el fallo ocurre.

Para casos prácticos de aplicación, un grafo como el de la Fig. 5-5 puede ser representado de forma equivalente por un conjunto de reglas de la forma:

SI $residuo = r_j$ ENTONCES $fallo = f_i$ es posible

donde el número de reglas es igual al número de uniones en el grafo. La representación puede ser directa (caso clásico) o difusa.



• Fig. 5-5 Grafo dirigido simple.

Los **SDG** (*signed directed graph*) fueron establecidos para modelar procesos continuos. La idea básica de esta técnica consiste en rastrear los funcionamientos defectuosos observados hacia atrás (hacia su origen). Para habilitar este proceso es necesario representar las posibles formas y tipos de propagación de la información.

Un SDG consiste en nodos que representan variables de estado, condiciones de alarma, fuentes de fallos o valores medidos, y ramas (uniones) representando la influencia entre los nodos. La influencia puede ser positiva (+) o negativa (-). Cada nodo puede influir sobre varios otros nodos. Cualquier nodo puede ser influenciado por ninguno, uno o varios nodos. También puede especificarse información auxiliar; incluyendo retardos, intensidad de la influencia, probabilidades, etc.

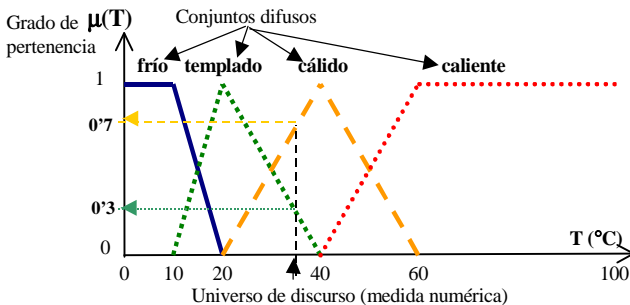
El grafo causal puede usarse tanto para el modelado de fallos (simulación de propagación fallos) como para el diagnóstico (buscando causas iniciales de los funcionamientos defectuosos observados).

Imprecisión. Representación del conocimiento mediante lógica difusa.

El concepto de conjuntos difusos, vagos o *fuzzy*, fue introducido inicialmente por Lotfi Zadeh, en 1965. Desde entonces, debido a la investigación y al desarrollo tecnológico, la teoría de la lógica difusa ha sido aplicada en multitud de campos.

En los procesos de decisión las conclusiones o decisiones no siempre pueden tener estrictamente la forma de *sí/no*, *verdadero/falso*. La complejidad de un problema o las condiciones vagas, inciertas, siempre llevan conclusiones intermedias, transitorias, o vagas. Para tratar con estos problemas, debemos relajar la dicotomía verdadero/falso de la lógica bivaluada y permitir valores indeterminados o intermedios de verdad. En este caso, la teoría de la lógica difusa da una posible solución al problema de la representación del conocimiento y del razonamiento.

Los límites de muchas de las clases o categorías que normalmente empleamos parecen vagos, la transición de la pertenencia a la no pertenencia no es brusca sino gradual. Los **conjuntos difusos** permiten introducir esta vaguedad definiendo funciones de pertenencia asociadas a éstos para designar el grado en que un elemento pertenece al conjunto. En la Fig. 5-6 podemos ver las funciones de pertenencia $\mu_{\text{frío}}(T)$, $\mu_{\text{templado}}(T)$, $\mu_{\text{cálido}}(T)$, $\mu_{\text{caliente}}(T)$ correspondientes al grado con el que una temperatura (T) es similar o compatible con el concepto representado por cada conjunto. Se observa que una temperatura de 35° pertenece al conjunto de temperaturas **cálidas** con un grado de pertenencia de $0'7$ y a su vez pertenece al conjunto de las temperaturas **templadas** con un grado de pertenencia de $0'3$.

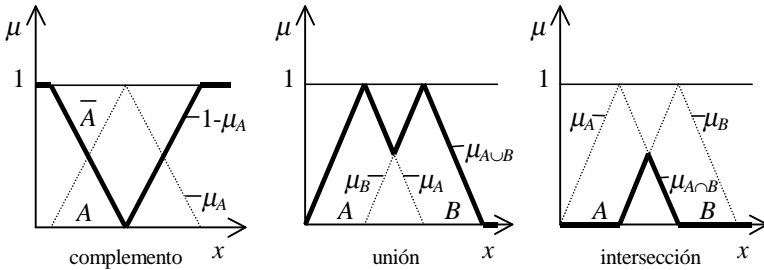


• Fig. 5-6 Una posible representación difusa de la Temperatura.

La **lógica difusa** o **fuzzy** soporta en su arquitectura e inferencia métodos de decisión más próximos a la manera humana de pensar y para la comunicación en idioma natural que la lógica proposicional o el modelado cuantitativo basado en métodos estrictamente analíticos.

Existen diversas formas de extender las operaciones básicas de conjuntos a los conjuntos difusos mediante la utilización de las funciones de pertenencia. A modo de ejemplo, la complementariedad (NOT), la unión (OR) y la intersección (AND) pueden definirse para un conjunto X como:

- NOT: $\bar{A} : \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
- OR: $\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$
- AND: $\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$



• Fig. 5-7 Operaciones básicas con conjuntos difusos.

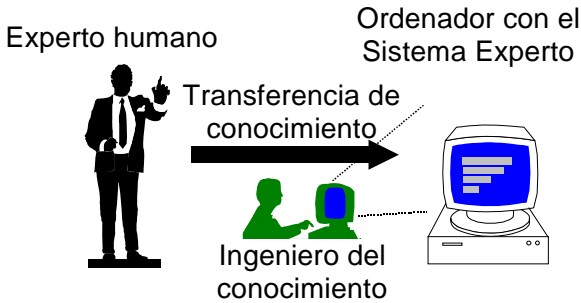
Las aplicaciones de la lógica difusa son diversas. Un controlador difuso (FLC, *Fuzzy Logic Controller*) es un dispositivo que convierte una estrategia de control descrita por reglas lingüísticas en un algoritmo de control del proceso o sistema. Un supervisor difuso (FLS, *Fuzzy Logic Supervisor*) es un dispositivo que también utilizará reglas lingüísticas para llevar a cabo la capacidad humana de abrazar horizontes de información grandes, pero seleccionando (filtrando) detalles este conjunto de datos. En ambos casos el conocimiento humano, la experiencia y la inteligencia juegan un papel importante, fuera de toda duda. Para más información consultar [21].

Sistemas expertos

Pueden encontrarse definiciones muy variadas de Sistemas Expertos (SE). Algunas basadas en su función, otras en la estructura y otras en componentes funcionales y estructurales. A grandes rasgos puede decirse que un SE sirve para codificar conocimiento humano en términos de experiencia, razonamiento aproximado, imprecisión, analogía, razonamiento por defecto, aprendizaje, etc. Específicamente, se trata de representar el conocimiento experto en un

sistema basado en reglas de producción para tener un ordenador que responda como lo haría el experto humano.

En resumen, puede decirse que un sistema experto contiene un **motor de inferencia** y una **base de conocimiento** la cual se compone de una **base de reglas** y una **base de hechos**.



• Fig. 5-8 Sistema Experto.

Una **base de reglas** es un conjunto de reglas del tipo:

IF [sucede_algo] THEN [decide/concluye_algo] CERTAINTY [valoración]

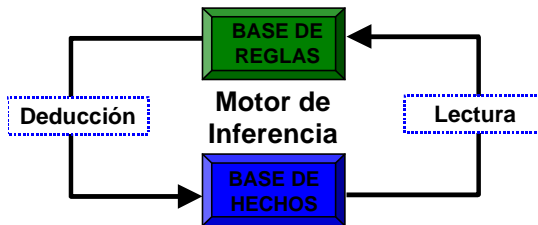
La parte IF ... THEN de la regla, es decir [sucede_algo], se llama premisa de la regla o bien precedente. La parte THEN ... CERTAINTY, es decir [decide/concluye_algo], se llama conclusión de la regla. La CERTAINTY, [valoración], significa la seguridad con que el experto de procesos/control (operario o ingeniero) hace esta afirmación que la hemos convertido en una regla del SE. Por tanto, cualquier base de reglas tendrá la forma mostrada en la Fig. 5-9.

<p>Regla 1 : IF A THEN B CERTAINTY 80%</p> <p>Regla 2 : IF B AND C THEN D CERTAINTY 45%</p> <p>...</p> <p>Regla N : IF D OR E THEN F CERTAINTY 70%</p>

• Fig. 5-9 Base de reglas.

Una **base de hechos** es el conjunto de evidencias junto con sus certezas asociadas. Por ejemplo, una variable medida, un hecho como “Hoy llueve” o “Posible ALARMA708, con certeza 30%” o una conclusión de una o varias reglas como “Diagnóstico: PROBLEMAS CON LA VALVULA 12, con certeza 90%”

El **motor de inferencia** se encarga de recorrer las reglas inspeccionando si las puede aplicar. Es decir, se encarga de ejecutar el razonamiento. El razonamiento consiste en aplicar una base de reglas a una base de hechos para obtener nuevas conclusiones.



• Fig. 5-10 Motor de inferencia.

A medida que se van aplicando las reglas se deducen nuevos hechos que se añaden a la base de hechos. Hay dos tipos básicos de motores de inferencia:

- **Forward Chaining:** Busca qué reglas se pueden aplicar con la base de hechos actual. Para ello se recorren todas las reglas una a una inspeccionando las premisas para ver si se pueden ejecutar o disparar deduciéndose nuevos hechos que se insertan en la base de hechos y que pueden disparar otras reglas. El motor se para cuando no encuentra ninguna regla que se pueda disparar.
- **Backward Chaining:** En este caso, dado un hecho especial (hipótesis), se buscan todas las reglas que concluyen ese hecho y se mira si sus premisas se pueden cumplir. Esto implica hurgar en la base de hechos para buscar hechos actuales que sean evidencia o bien puedan ser deducidos por otras reglas. El motor se para cuando no encuentra mas reglas que puedan ser disparadas para deducir la hipótesis o bien encuentra la hipótesis deducida con una certeza calculada.

La utilización de estas técnicas en la industria consta con varias aplicaciones de probada eficacia. Pueden consultares algunas de ellas en [9], [10] ó [13].

Aprendizaje. Redes Neuronales

Las redes neuronales artificiales pueden definirse como sistemas de computación constituidos por un gran número de elementos de proceso simples y muy interconectados. La información se procesa como respuesta a entradas externas teniendo en consideración el estado interno de los elementos.

Debido a su constitución y sus fundamentos las redes neuronales ofrecen numerosas ventajas, que incluyen aprendizaje adaptativo, auto-organización, tolerancia a fallos y operación en tiempo real.

Entre las aplicaciones a la supervisión de procesos podemos destacar: filtrado de señales, reconocimiento de patrones, búsqueda en bases de datos, segmentación, compresión y fusión de datos y toma de decisiones. La utilización de redes neuronales en supervisión conlleva en muchas ocasiones la integración con otros tipos de herramientas [11].

El elemento básico de una red neuronal, la **neurona artificial**, U_j , puede describirse de forma simple mediante un conjunto de funciones:

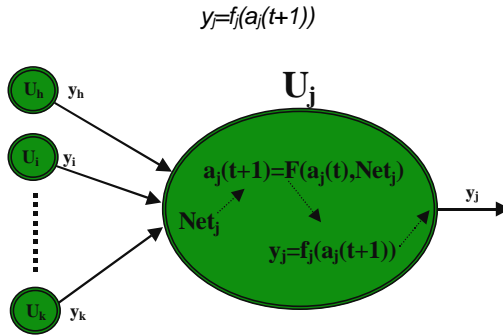
- Regla de propagación: una neurona U_j recibe entradas de otros elementos de la red o del exterior (ver Fig. 5-11). Cada una de estas entradas es ponderada por un peso, de forma que la entrada neta de una neurona se puede escribir como el producto escalar del vector de entradas por el vector de pesos.

$$Net_j = \sum_{i=1}^k w_{ij} y_i$$

- Función o regla de activación: Produce un nuevo estado de activación a partir del estado anterior y la combinación de las entradas con los pesos de las conexiones.

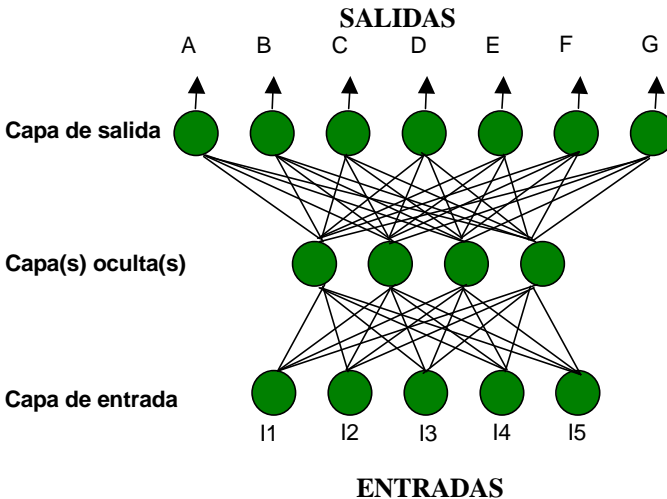
$$a_j(t+1) = F(a_j(t), Net_j)$$

- Función de salida o transferencia: Transforma el estado actual de activación en una señal de salida:



• Fig. 5-11 Neurona Artificial.

Una red neuronal se compone entonces de elementos básicos interconectados y estructurados en varias capas, entre ellas la de entrada y la de salida.



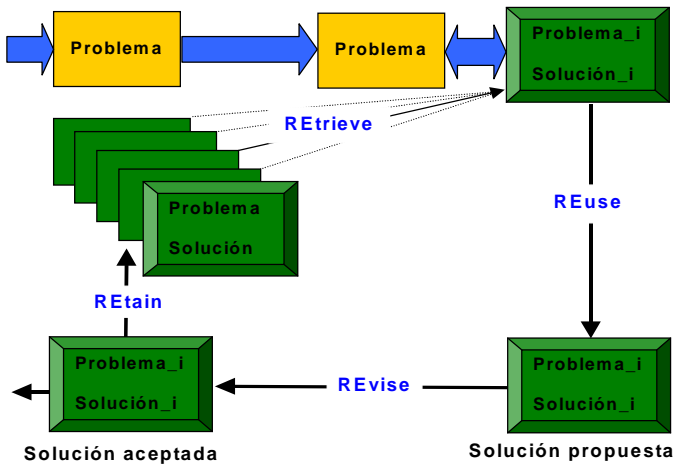
• Fig. 5-12 Capas en una red neuronal.

El aprendizaje en una red neuronal se realiza mediante la modificación del vector de pesos de cada neurona, reforzando o disminuyendo la influencia de unos elementos sobre los demás. La modificación de los pesos se hace

mediante un proceso de entrenamiento a partir de ejemplos en que se relacionan entradas conocidas con las salidas deseadas.

Razonamiento basado en casos

El razonamiento basado en casos (CBR, *Case Based Reasoning*) constituye un enfoque para reutilizar el conocimiento existente para resolver nuevos problemas. En muchos problemas complejos existen soluciones obtenidas como resultado de largos periodos de experimentación. Estas soluciones se basan en la experiencia extensa, prueba y error, intuición y experiencia personal de expertos del dominio, habilidad de las empresas, etc., pero no existe ningún modelo formal. El conocimiento no puede ser fácilmente codificado, por ejemplo, en forma de conjunto de reglas. En estos casos uno de los enfoques más prometedores consiste en la aplicación del conocimiento ya existente sobre nuevos casos (problemas) similares para resolverlos, quizás después de los ajustes o modificaciones necesarios. Éste también es el caso de la supervisión de procesos de naturaleza compleja y sin ningún modelo matemático preciso, donde la experiencia, el conocimiento y la intuición de los especialistas proporcionan un control satisfactorio y seguro. Simplemente la reutilización de ese conocimiento puede constituir un acercamiento constructivo para una supervisión eficaz.



• Fig. 5-13 Ciclo básico en CBR.

CBR establece una metodología que dependiendo del problema y de la representación de conocimiento puede implementarse de diferentes formas. Puede usarse como método independiente o para apoyar y reforzar herramientas existentes. El general, se dice que el CBR comprende las siguientes cuatro actividades RE:

- REcuperación (*Retrieve*) del caso (o casos) más similar(es).
- REutilización (*Reuse*) de casos como soluciones potenciales para resolver el problema.
- REvisión (*Revise*) de la solución propuesta.
- REtención (*Retain*) de la solución obtenida (después de su comprobación) en la base de conocimiento para su posterior utilización.

El ciclo básico en CBR puede ilustrarse con la Fig. 5-13, en la que se observa la aplicación de dichas fases en la resolución de un problema.

Reconfiguración y Soporte al usuario

El último paso de la supervisión es la determinación de las acciones necesarias para restablecer el funcionamiento normal del proceso o para minimizar en lo posible el efecto de los fallos. Esta fase puede llamarse de **reconfiguración** y constituye el último paso para cerrar el lazo de supervisión.

En este aspecto, en la mayoría de los casos los sistemas de supervisión no actúan directamente sobre el proceso sino que se limitan a indicar o proponer acciones que después son llevadas a cabo (o no) por los operarios o los ingenieros del proceso. La supervisión juega, entonces, un papel de soporte al usuario (en este caso el ingeniero de proceso), sobre el que finalmente recae la responsabilidad.

La reconfiguración del proceso o determinación de las acciones correctoras se basan normalmente en la experiencia, en los conocimientos adquiridos sobre en funcionamiento del proceso o sobre la estructura del mismo. En este sentido, las herramientas de la inteligencia artificial anteriormente descritas pueden ser utilizadas en esta etapa de decisión igualmente que en la etapa de

diagnóstico. De la misma forma que podemos deducir el origen de los fallos a partir de los síntomas o residuos, también podemos deducir las acciones correctoras a partir de los fallos diagnosticados.

En cualquier caso, se trata de reconducir el proceso desde un estado anormal (de fallo) al estado normal con el mínimo coste posible. Desde este punto de vista el proceso supervisado, aunque continuo, puede ser estudiado de forma más general como un sistema de eventos discretos, descrito mediante estados y transiciones, en los que cada estado representa una situación (normal o alguna de las posibles situaciones de fallo) del proceso.

Tendencias actuales

Introducción

En capítulos anteriores se han comentado las características de los software SCADA comerciales y la existencia de otras técnicas complementarias que pueden ser de utilidad en la creación de un sistema de supervisión. La supervisión es una disciplina activa tanto en el desarrollo de nuevos productos como en lo que a investigación de metodologías y herramientas se refiere.

En este capítulo, por tratarse del último, se ha querido contrastar el avance científico con el estado actual en lo referente a los productos comerciales y soportes usados en la industria. Por tanto, este capítulo tiene un carácter de recapitulación de los anteriores, en cuanto se analizan las dificultades en la implementación, configuración, y explotación de un sistema de supervisión de acuerdo con las fases descritas, así como las limitaciones tecnológicas que deben superarse. A la vez se presentan las líneas abiertas en cuanto a investigación y a desarrollo comercial.

Tendencias en la oferta actual

Los elementos que caracterizan la oferta actual de las últimas versiones de software de supervisión y control son los siguientes.

Sistema Operativo

Windows NT, por el momento, es el entorno preferente para la mayoría de proveedores de software industrial, por la potencia de estandarización de Microsoft y por sus características: multitarea, gestión avanzada de errores, control de acceso, y soporte para comunicaciones multiprotocolo (TCP/IP, IPX/SPX, Netbeui, etc.).

Para reducir el tiempo de puesta en marcha y mejorar la solidez de funcionamiento se utilizan versiones *embedded*, es decir, implantaciones que solamente disponen de un conjunto específico de funcionalidades, los precisos para la aplicación SCADA.

Por otra parte, se añaden capacidades para la gestión de tiempo real mediante software, garantizando rapidez de atención a los procesos que la requieren mediante una apropiada gestión de prioridades.

De todos modos, UNIX mantiene su validez y sigue siendo soportado por varios proveedores, especialmente por aquellos que desarrollaron grandes aplicaciones de ingeniería que requieren elevada potencia de cálculo.

Lenguaje de Programación

La oferta actual tiende hacia VBA, o VB y C++. Para la configuración de aplicaciones SCADA es preciso, muchas veces, añadir código específico. Anteriormente este código correspondía a lenguajes propietarios y con capacidades reducidas. La tendencia es a ofrecer, en los software SCADA, la posibilidad de trabajar con lenguajes estándar, de amplia difusión, desarrollados como lenguaje para ser utilizado para el desarrollo de aplicaciones software.

Uno de estos lenguajes es el ***Visual Basic for Applications*** (VBA) se presenta integrado en los nuevos productos que ofrecen los líderes del mercado de SCADAS. VBA es el lenguaje de programación, orientado a objetos, incorporado en las aplicaciones de Microsoft Office 97 y se está convirtiendo en un estándar *de facto* que presenta una muy buena relación entre potencia y dificultad de aprendizaje y uso. Su uso facilita la integración de objetos suministrados por terceros, en la medida que aplican este mismo estándar.

La tendencia es que las aplicaciones SCADA dispongan de VBA de forma integrada (*embedded VBA*). Esto significa que en el entorno de programación de VBA, al editar el programa, están disponibles los objetos creados en la aplicación SCADA, así como los métodos asociados a cada objeto, y sus propiedades. Esta integración agiliza el desarrollo y permite obtener la máxima potencia del VBA. VBA soporta controles ActiveX.

Tecnología OPC

Otra tendencia es la utilización creciente de la tecnología **OPC** para la comunicación entre aplicaciones y con dispositivos: **MES**, **ERP**, comunicaciones con buses de PLCs. En algunos casos el SCADA es cliente OPC y en otros puede ser cliente y servidor OPC. La tendencia es convertir el núcleo del SCADA en un conjunto de servidores y que el resto de la aplicación esté formado por aplicaciones clientes.

Tal como ya se ha indicado en el capítulo 3, la tecnología **OPC** es el estándar que se impone para comunicar sistemas y dispositivos, incluyendo tanto las comunicaciones entre un software SCADA y los buses de comunicación con los autómatas, como las comunicaciones entre una aplicación SCADA y otras aplicaciones como pueden ser las de gestión, programación, o análisis.

Antes del OPC, cada software requería de un interface específico (servidor, *driver*) para intercambiar datos con una determinada familia de dispositivos de campo. Y para intercambiar datos entre aplicaciones se utilizaba el estándar DDE o bien interfaces específicos para cada pareja de aplicaciones. OPC elimina esta necesidad y permite utilizar una misma tecnología para comunicar aplicaciones, dispositivos y *drivers*. Los proveedores, tanto de *hardware* como de *software*, pueden suministrar productos con una elevada conectividad y compatibilidad ofreciendo un único interface. Y los usuarios, sin ningún coste adicional, tienen una amplia gama de opciones para construir la solución que mejor se adapta a sus necesidades, y todo ello empleando una misma operativa.

Otras

Además de las tendencias descritas en subsecciones previas, la mayoría de fabricantes coinciden en la incorporación de facilidades del tipo:

- Servidor web para acceso utilizando **Internet**, tecnología basada en la arquitectura DNA de Microsoft (*Distributed interNet Application*).
- Funcionamiento en red: LAN e Intranet.
- Soporte de controles **ActiveX**. Las aplicaciones clientes de una determinada solución SCADA se convierten en contenedores de objetos ActiveX.
- Utilización de *Toolkits* específicas desarrolladas por terceros. Un buen ejemplo de ello son las librerías o *Toolkits* de **SPC**, y también los *Toolkits* neuronal o *Fault Expert* que ofrece Gensym como soporte a la detección y diagnóstico de fallos para G2.
- Compatibilidad con el entorno y tecnología de Microsoft (Windows NT/CE y DNA).
- Análisis de datos históricos y en tiempo real.
- Arquitectura del tipo Pegar y Funcionar.
- Utilización de PC de bolsillo (*pocket PC*), bajo entorno operativo Windows CE, como dispositivo de soporte de la aplicación SCADA, y cubriendo todas las funcionalidades de supervisión en modo *run-time*, con posibilidad de acceso remoto vía TCP/IP.



• Fig. 6-1 *Pocket* GENESIS™

La Fig. 6-1 muestra un ejemplo de arquitectura escalable, se ejecuta sobre dispositivos *Palm-sized*. Ideal para pequeñas máquinas de control o en aplicaciones distribuidas para tareas de mantenimiento y seguimiento.

Tendencias en la demanda

Por lo que respecta a la demanda, la tendencia actual se caracteriza por:

- Evolución de los sistemas de control de producción a sistemas integrados de gestión de proceso, de planta, y de empresa que ofrezcan rentabilidad de explotación, es decir, que permitan mejorar la productividad, conseguir mayor agilidad, e incrementar la calidad y homogeneidad de producción en productos y servicios.
- Requerimiento de disponibilidad de información en tiempo real.
- Soporte informático al análisis de datos, para convertir datos en información y así facilitar la toma de decisiones, y también para que el propio sistema sea capaz de detectar anomalías, diagnosticar la causa, y proponer la solución al problema.
- Mayor exigencia de fiabilidad y seguridad.
- Preferencia de utilización de entorno Windows tanto para gestión, como para proceso y planta.
- Intercambio de información entre todos los niveles de la pirámide CIM.



• Fig. 6-2 Estandarización de equipos y medios en la pirámide CIM.

Tal y como se refleja en la Fig. 6-2, actualmente la exigencia industrial lleva hacia la homogeneización de equipos industriales de soporte y comunicaciones que se pone de manifiesto en todos los niveles de la pirámide CIM.

Limitaciones de los sistemas actuales

La mayoría de las soluciones comerciales se centran exclusivamente en la adquisición y registro de datos (monitorización). Tal como se explica en el capítulo 1, los actuales SCADAs no resuelven la supervisión experta, aunque son de entornos abiertos que pueden integrarse en una solución global a la medida de las necesidades de cada proceso.

La supervisión emplea diversas tecnologías en la implementación de soluciones concretas por lo que un soporte técnico completo requiere el concurso de varios especialistas, o bien un conocimiento multidisciplinar. Además, estas tecnologías están en constante evolución, por lo que cada día aparecen soluciones más potentes y las anteriores van quedando obsoletas.

Tal como se comenta en los capítulos 4 y 5, las etapas de decisión y diagnóstico necesarias para cerrar el lazo de supervisión depende de la naturaleza de cada proceso. No existen por el momento soluciones globales comerciales que puedan configurarse para cada empresa y debe recurrirse a soluciones a medida. Solo el entorno G2 (Gensym) incorpora herramientas de IA (sistema experto, redes neuronales, fuzzy, etc.) a través de diversos *Toolkits*.

Tampoco es habitual encontrar herramientas de tratamiento numérico de las señales en los paquetes SCADA actuales. La tendencia es a mejorar la comunicación entre aplicaciones, o entre bloques funcionales, como se ha comentado en el capítulo 3 al tratar de los controles ActiveX y los estándares XOM/DCOM.

Aunque existe una demanda importante de integración de aplicaciones para cubrir desde la gestión al control de operaciones y procesos, esta integración requiere conocimientos de la estructura de datos relacional interna de cada una de las aplicaciones. Por este motivo es habitual recurrir a empresas consultoras o ingenierías especializadas.

El problema actual es de integración de métodos y herramientas para cumplir el objetivo de supervisión a partir del aprovechamiento de toda información disponible con independencia de su formato y mecanismo de gestión. En este sentido, se puede afirmar que no existen soluciones generales de supervisión experta de procesos.

Investigación en Supervisión

Esta situación plantea la necesidad de desarrollar aplicaciones específicas para completar el ciclo de supervisión automática y, en muchos casos, esto se consigue a través de la colaboración de las empresas con las Universidades e ingenierías.

Las líneas de investigación en el ámbito de la supervisión de procesos se centran especialmente en estudiar aquellos aspectos que no quedan cubiertos por las soluciones estándar actuales. Y ello se concreta en el estudio del comportamiento de procesos industriales siguiendo diferentes aproximaciones y técnicas; la modelización y simulación de estos procesos; la obtención de representaciones cualitativas de procesos y señales; el desarrollo de métodos para la detección de fallos; el diagnóstico de fallos mediante técnicas de IA y el diseño de estructuras y algoritmos de control tolerante a fallos.

En España existen varios centros de investigación y desarrollo que trabajan aspectos relacionados con la supervisión de procesos. A continuación se enumeran aquellos que comparten la perspectiva mostrada en esta monografía. No se trata, por tanto, de un listado exhaustivo, sino de una relación de centros con cierta afinidad en sus líneas de investigación unidos por su participación en CEA-IFAC en los últimos años:

- Institut d'Informàtica i Aplicacions (IliA), de la Universidad de Girona
Monitorización Inteligente y Supervisión Experta, Sistemas con incertidumbre, Agentes físicos.
Tel: 972 41 89 56 (Secretaría IliA)
E-mail: Joaquim.Melendez@iia.udg.es , Joan.Colomer@iia.udg.es
Web: <http://iia.udg.es/eXIT.html> , <http://eia.udg.es/exit>
- Departamento de Electrónica y Automática de la Escuela Universitaria Politécnica de Mataró
Supervisión y SCADAs. Aplicaciones y integración.
Tel.: 93 757 44 04
E-mail: ayza@eupmt.es
Web: <http://www.eupmt.es>

- Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica, i Informàtica Industrial (ESAII), de la Universitat Politècnica de Catalunya.
Detección de fallos, Modelización y simulación, Control avanzado.
Tel: 34-93-739 82 90. (Secretaría ESAII, Campus Terrassa).
E-mail: vert@iesaii.upc.es
Web: <http://www-esaii.upc.es>
- Laboratorio de Mantenimiento Predictivo y E.N.D. de CARTIF de la Universidad de Valladolid
Supervisión, Diagnóstico de Fallos, Mantenimiento predictivo.
Tel.: 983 54 65 04 / 983 42 35 45
E-mail: luimig@cartif.es / luimig@eis.uva.es
Web: <http://www.cartif.es/mantenimiento> / <http://www.eis.uva.es/~fdi>
- Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Politécnica de Valencia.
Diagnóstico de Fallos, Herramientas para la Supervisión (SCADAs)
Tel.: 963 87 70 00 - Ext. 5767
E-mail: egarciam@isa.upv.es
Web: <http://www.isa.upv.es>
- Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Valladolid
Diagnóstico automático de fallos, Control tolerante a fallos.
Tel.: 983 42 30 00 – Ext. 5006
E-Mail: maria@autom.uva.es
Web: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/>

Introducción

Este capítulo bibliográfico pretende agrupar no solo las referencias que aparecen en texto de la monografía, sino algunos otros textos que por su contenido pueden ser de utilidad al lector que quiera profundizar en el tema de la supervisión. Por este motivo se han agrupado los textos por temas de acuerdo con la clasificación siguiente:

- Automatización y Monitorización industrial actual.
- Sistemas de supervisión.
- Inteligencia artificial: Decisión y diagnóstico en la industria.

Como el lector observará, se han incluido tanto libros como artículos de revista, artículos de investigación y de divulgación, manuales y textos teóricos. Dado el carácter industrial de la monografía, el propósito es la complementariedad de contenidos y de enfoques que las referencias constituyen. Aunque la bibliografía sobre el tema no es excesivamente extensa, se ha procurado incluir en el listado aquellos textos que por su contenido pueden ser de utilidad al lector para la profundización en determinados tópicos.

Aunque no se mencionen explícitamente, por su volumen, se proponen también todos aquellos manuales y documentos que acompañan los productos comerciales y que las casas proporciona como difusión y soporte.

Automatización y Monitorización industrial actual

- [1] Balcells J., y Romeral J.L., "Autómatas programables", Marcombo Boixareu Editores, 1997.
- [2] Gafas. G y Fernández M., "Proceso por lotes. Soluciones para su control y gestión", Ael, pp. 71-76, N°293, Feb. 1999.
- [3] Marlin T. E., "Process Control. Designing Processes and Control Systems for Dynamic performance", McGraw-Hill Chemical Engineering Series, 1995.
- [4] Roca C., "Sistemas de Control para la Industria Alimentaria. Utilización de estándares e integración", Ael, pp. 64 -70, N°293, Feb. 1999.
- [5] Ayza J., "Software de Control", Ael, pp.117-131, N°299, Sep. 1999.
- [6] <http://www.abpubs.demon.co.uk/scadasites.htm>
- [7] Kane E.V., "Defect Prevention. Use of simple statistical methods", Marcel Dekker Inc. ASQC Quality Press, 1989.

Sistemas de Supervisión

- [8] Sohlberg B., "Supervision and control for Industrial processes", Advances in Industrial Control, Springer-Verlag, 1998.
- [9] Rakoto-Ravalontsalama Naly, Joseph Aguilar-Martin, "Supervision de processus à l'aide du système expert G2", Hermès, Paris, 1995.

Inteligencia artificial: Decisión y diagnóstico en la industria

- [10] Badiru A. B., "Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing", Prentice Hall, 1992.
- [11] Gallant S. I., "Neural Network Learning and Expert Systems", MIT Press, 1993.

- [12] Genesereth M.R., and N.J. Nilsson, "Logical Foundations of Artificial Intelligence", M.Kaufmann Publ. Inc., 1987.
- [13] Jovic F., "Expert Systems in Process Control", Chapman & Hall, 1992.
- [14] King R. E., "Computational Intelligence in Control Engineering", Marcel Decker Inc, 1999.
- [15] Lenz M. et al., "Case-Based Reasoning Technology. From Foundations to applications", Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 1400, Springer, 1998.
- [16] McGhee J., Grimble M.J., Mowforth P., "Knowledge-Based Systems for INDUSTRIAL CONTROL", IEE Control Engineering Series 43, Peter Peregrinus Ltd., 1990.
- [17] Patton R., Frank P. and Clark R., "Fault Diagnosis in Dinamic Systems. Theory and applications", Prentice Hall, 1989.
- [18] Piera N., "Current trends In Qualitative Reasoning and Application", pp. 114-119, Monograph CIMNE N° 33, Piera Ed., Barcelona, 1995.
- [19] Stock M. "AI in process control", Intertext Publications/multiscience Press, Inc., McGraw-Hill Book company, 1989.
- [20] Zhang Q. et al., "Application of FBOLES- a prototype expert system for fault diagnosis in nuclear power plants", Reliability Engineering and System Safety ,44 , pp. 225-235, 1994.
- [21] Passino K. M., Yurkovich S., "Fuzzy control", Addison-Wesley, 1998.

Glosario

A

Abstracción, 45
 ActiveX, 29, 31, 70
 Add-on, 31
 Alarma, 8, 9, 21
 Alarma y eventos, 24
 Alarma, Tipos de, 21
 Alarmas, Filtrado de, 23
 Análisis de Pareto, 51

B

Backup (salvaguarda), 34
 Backward Chaining, 61
 Base de conocimiento, 60
 Base de hechos, 60
 Base de reglas, 60
 Batch, 29
 Bus de campo, 15

C

Cálculo proposicional, 53
 COM/DCOM, 29, 31
 Conjuntos difusos, 58
 Conocimiento, 49
 Conversión analógica / digital, 17
 Cualificación, 45

D

DDE, 29
 Decisión, Árbol de, 54
 Decisión, Tabla de, 55
 Decisión. Lista de, 54
 Detección de fallos, 5, 10, 47

Diagnóstico de fallos, 5, 10, 47, 50

E

Episodio, 46
 Error, 10
 Estimación de parámetros, 44
 Etapas básicas en supervisión, 6
 Evento, 9

F

Fallo, 9
 Fallos, Árbol de, 56
 Falta, 9
 Forward Chaining, 61
 Fuzzy, 58

G

Gráficos de control, 42
 Grafos, 55
 Grafos dirigidos simples, 56
 Grafos SDG, 57

H

Históricos, 25

I

IEEE-488.2, 13
 Integración, 68
 Integración de aplicaciones, 30
 Interface gráfico de operador, 17
 Interface hombre máquina, 17, 28
 Internet, 32, 70

ISA, 19

L

Lógica difusa, 57

M

Malfuncionamiento, 9

MES, 27, 69

Modelo, 4

Modelo cualitativo, 45

Monitorización, 5, 10, 11

Motor de inferencia, 60

N

Neurona artificial, 62

O

Observadores, 44

OLE, 29

OLE/ODBC, 28

OPC, 29, 32, 69

P

Proceso, 3

R

Reconfiguración, 5

Redes neuronales, 62

Redundancia analítica, 43

Régimen permanente, 9

Régimen transitorio, 9

Residuo, 10, 43

Residuos. Generación de, 44

ROC, 23

RS-232, 14

RS-485, 15

S

S88, 3

SCADA, 7

SCADA, Desarrollo, 34

SCADA, Estructura, 27, 35

SCADA, Licencia, 34

SCADA, Programación, 68

SCADA, Sistemas abiertos, 30

Síntoma, 10, 42

Sistema Experto, 59

SPC, 70

SPC/SQC, 29, 40

Supervisión, 2, 10

Supervisión experta, 5, 10, 49, 52

T

Tag, 17

Tendencia, 25, 46

U

Umbral, 50

Umbrales de alarma, 22

V

Ventana temporal, 46

Visual Basic, 68

LA MONOGRAFÍA

La supervisión de procesos industriales sigue a la automatización de procesos como forma de aprovechar el flujo de información que proviene de los sistemas de adquisición. El volumen de información crece y se necesita de nuevas herramientas y técnicas que permitan su utilización sistematizada para vigilar los procesos de forma autónoma. Bajo esta perspectiva, SISTEMAS DE SUPERVISIÓN, ofrece un recorrido por los actuales sistemas SCADA analizando sus funcionalidades y remarcando su concepción de sistemas abiertos para la integración de nuevas tecnologías con el propósito de una supervisión basada en el conocimiento (supervisión experta). Se revisan los métodos y herramientas actuales y se introducen aquellas que en un futuro formaran parte de un entorno de supervisión inteligente.

LOS AUTORES



Joan Colomer, es Licenciado en Ciencias Físicas por la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) y Dr. Ingeniero Industrial por la Universitat de Girona (UdG). Profesor Titular del Departamento de Electrónica Informática y Automática de la UdG. Actualmente imparte docencia en asignaturas de control por computadora y automatización en esta universidad. Su investigación en supervisión se centra en el desarrollo y evaluación de herramientas de abstracción para la representación simbólica de señales.



Joaquim Meléndez, es Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Cataluña y Dr. Ingeniero Industrial por la Universitat de Girona (UdG). Profesor Titular del Departamento de Electrónica Informática y Automática de la UdG. Actualmente imparte docencia en las titulaciones de Ingeniería Técnica y Superior Industrial de esta universidad. Su investigación en supervisión se centra en la integración de herramientas de Inteligencia artificial para la detección y diagnóstico de fallos.



Jordi Ayza, es Ingeniero Industrial y Dr. Ingeniero industrial por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Profesor Titular del Departamento de Electrónica y Automática de la ETUP de Mataró. Colaborador de la revista Automática e Instrumentación y asesor de implantación de sistemas de gestión integrada y de calidad (ISO 9000). Ha sido colaborador científico del CSIC, director comercial de Guspira, S.L. y director técnico de Epromos, S.A.