



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN

CONTROL DE PROCESOS POR LOTES
CON LA AYUDA DE LA NORMA ANSI/ISA S88

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
AREA: ELÉCTRICA – ELECTRÓNICA
P R E S E N T A :
JOSÉ EVERARDO MOLINA VILLANUEVA

DIRECTOR DE TESIS: DR. DANIEL ALDAMA ÁVALOS

U.N.A.M.

E.N.E.P. Aragón

MÉXICO

MARZO 2005

m. 342427



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEDICATORIA

A mis padres:

En agradecimiento a mis padres Salvador Molina Ochoa y Esperanza Villanueva Casillas, por el apoyo recibido durante toda mi formación profesional.

Quiero que sepan que mi principal motivación a lo largo de todo este tiempo han sido ustedes, quienes confiaron en mí y me alentaron a seguir adelante.

Con todo mi Amor y Gritud



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer sinceramente a todas aquellas personas que compartieran sus conocimientos conmigo, y pudieron hacer posible la conclusión de esta tesis.

A mi asesor, el Dr. Daniel Aldama Ávalos por su asesoría para enriquecer con su conocimiento esta tesis.

Al Ing. Cesar Ponce Parada, por sus ideas y recomendaciones respecto a esta investigación.

Al Ing. Eleazar Margarito Pineda Díaz, al Ing. José Antonio Ávila García, al Ing. José Manuel Ramírez Mora y al Ing. Fernando Macedo Chagolla, por su valiosa colaboración en la revisión de esta tesis y por sus comentarios a lo largo del desarrollo de la misma.



AGRADECIMIENTOS

A cada uno de los integrantes de ISA - Sección México y de ISA - Sección Estudiantil Aragón, en especial al Ing. Oscar Enrique Álvarez Meléndez, por su gran apoyo durante la realización de esta tesis.

A mis hermanos Javier, Juan Carlos, Salvador, Gerardo y Jorge Luis Molina Villanueva, por su gran ejemplo de superación y valiosa ayuda en todo momento desde el inicio de mis estudios.

A mis familiares y amigos, quienes siempre estuvieron presentes durante mi formación profesional.

Gracias a todos ellos.



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| CAPÍTULO I | |
| INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL..... | 8 |
| 1.1 Historia de la Instrumentación Industrial..... | 9 |
| 1.2 Importancia de la Instrumentación en los Procesos Industriales..... | 11 |
| 1.3 Bases Fundamentales de la Medición..... | 15 |
| CAPÍTULO II | |
| AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES..... | 18 |
| 2.1 Perspectiva Histórica..... | 20 |
| 2.2 Empresa Productiva..... | 22 |
| 2.2.1 Proceso Productivo..... | 24 |
| 2.2.2 Operaciones Básicas de Fabricación..... | 25 |
| 2.2.3 Tipos de Proceso..... | 26 |
| 2.2.4 Ubicación de los Procesos..... | 29 |
| 2.3 Proceso en Feedback..... | 30 |
| 2.3.1 Regulador de Watt..... | 30 |
| 2.3.2 Esquema de Regulación en Feedback..... | 32 |
| 2.3.3 Significado del Control..... | 34 |
| 2.3.4 Control en la Empresa..... | 35 |
| 2.4 Automatización Industrial..... | 35 |
| 2.4.1 Técnicas de Control..... | 35 |
| 2.4.2 Estructuras de Automatización..... | 37 |
| 2.4.3 Ventajas e Inconvenientes de la Automatización..... | 39 |
| 2.4.4 Elementos de la Automatización..... | 40 |
| CAPÍTULO III | |
| CONTROL AUTOMÁTICO..... | 43 |
| 3.1 Teorías del Control Automático..... | 43 |
| 3.1.1 Teoría Clásica del Control Automático..... | 44 |
| a) Modo Proporcional..... | 45 |
| b) Modo Integral..... | 45 |
| c) Modo Derivativo..... | 46 |
| 3.1.2 Teoría Moderna del Control Automático..... | 47 |
| 3.2 Esquemas de Control..... | 49 |
| 3.2.1 Control Lógico..... | 49 |
| 3.2.2 Control Regulatorio..... | 49 |
| a) Regulatorio Convencional..... | 49 |
| b) Control Avanzado de Procesos..... | 50 |
| • Control Adaptivo..... | 50 |
| • Control Robusto..... | 50 |
| • Control Inteligente..... | 51 |
| • Control Difuso..... | 51 |
| • Control Multivariable..... | 52 |
| • Control Experto..... | 52 |
| c) Control de Optimización..... | 52 |
| d) Control Gerencial..... | 53 |
| 3.2.3 Control Secuencial..... | 54 |
| 3.2.4 Control Servo o de Seguimiento..... | 54 |



ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| 3.3 Control Automático..... | 54 |
| 3.3.1 Función del Control Automático..... | 56 |
| 3.3.2 Lazo Realimentado..... | 57 |
| 3.3.3 Controlador Automático..... | 57 |
| 3.3.4 Controlando el Proceso..... | 58 |
| 3.3.5 Características del Proceso y Controlabilidad..... | 60 |
| CAPÍTULO IV | |
| CONTROL DE PROCESOS POR LOTES..... | 63 |
| 4.1 Sistemas de Control por Lotes..... | 65 |
| 4.2 Tipos de Control para los Procesos por Lotes..... | 68 |
| 4.2.1 Control Regulatorio..... | 69 |
| 4.2.2 Control Discreto..... | 71 |
| 4.2.3 Control secuencial..... | 71 |
| 4.3 Terminología de los Sistemas de Control por Lotes..... | 72 |
| 4.3.1 Equipos de Producción..... | 73 |
| • Elementos..... | 74 |
| • Lazos..... | 74 |
| • Dispositivos..... | 75 |
| • Módulos de Equipo..... | 76 |
| • Unidad..... | 77 |
| 4.3.2 Acciones del Proceso..... | 78 |
| • Procedimientos..... | 79 |
| • Operaciones..... | 79 |
| • Fases..... | 80 |
| • Control de Pasos..... | 80 |
| • Instrucciones de Control..... | 80 |
| 4.4 Características de los Procesos por Lotes..... | 81 |
| 4.4.1 Clasificación de los Procesos por Lotes..... | 81 |
| 4.5 Importancia de las Normas en los Sistemas de Control por Lotes..... | 82 |
| 4.5.1 Control de Procesos por Lotes con la ayuda de la Norma ANSI/ISA S88..... | 83 |
| • Orígenes de la Norma ANSI/ISA S88..... | 83 |
| • Modelos y Terminología de la Norma ANSI/ISA S88..... | 83 |
| • Definición del Modelo Físico..... | 85 |
| • Definición del Modelo de Procedimientos..... | 87 |
| CAPÍTULO V | |
| APLICACIÓN DE LA NORMA ANSI/ISA S88 EN LA INDUSTRIA..... | 90 |
| 5.1 Descripción del Proceso..... | 90 |
| 5.2 Estudio e Identificación de las Fases del proceso..... | 91 |
| 5.3 Análisis del proceso mediante el Modelo de la Norma ANSI/ISA S88..... | 96 |
| CAPÍTULO VI | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 108 |
| REFERENCIAS..... | 111 |



INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta tesis es la de saber de que forma ayuda la Norma ANSI/ISA S88 al Control de Procesos por Lotes, explicando la importancia de emplearla en la industria cervecera, mediante el conocimiento de su terminología y sus características; así como el de conocer los conceptos básicos, la fundamentación teórica y el desarrollo histórico de la instrumentación, la automatización y el control dentro de los procesos industriales.

En la industria se presenta repetidamente, la necesidad de conocer y entender el funcionamiento de los instrumentos, las normas que los rigen y el papel que juegan dentro del control de proceso. Así le ocurre al jefe o al operador del proceso, al proyectista y a su ingeniería, al estudiante y a cualquier persona que esté relacionada o vaya a relacionarse con el control de proceso por lotes.

A todas estas personas va dirigida esta tesis la cual ha sido escrita exponiendo los aspectos más importante y fundamentales que son necesarios para comprender y adentrarse al maravilloso mundo del "Control de Procesos por Lotes". Desde este punto de vista he intentado que los temas expuestos sean fácilmente comprensibles para aquellas personas que la consulten, aunque no tengan una preparación previa en instrumentación, automatización y control.

La tesis consta de seis capítulos. En el primer capítulo se presenta la historia de la Instrumentación Industrial, explicando su desarrollo dentro del marco teórico del control de procesos. En los capítulos segundo y tercero, se establecen el concepto de Automatización de Procesos Industriales, mostrando su desarrollo histórico, sus técnicas, su estructura, sus aplicaciones, sus ventajas e inconvenientes, y el concepto de Control Automático, describiendo las teorías de control más utilizadas actualmente, respectivamente.

La parte más importante de la tesis está dedicada al Control de Procesos por Lotes y a la Aplicación de la Norma ANSI/ISA S88 en la Industria, en los capítulos cuarto y quinto, respectivamente, en ellos se explican los conceptos del control de procesos por lotes, asimismo, se estudia el control desde el punto de vista normalizado, lo que permite deducir un camino para la optimización de los procesos en el cual están basados los criterios establecidos para su mejor controlabilidad dentro de la industria. Por último en el capítulo sexto se registran las conclusiones y las recomendaciones que se obtuvieron en el desarrollo de la misma.

Esta tesis pretende cumplir con su objetivo, al contribuir a una mejor comprensión de la instrumentación, la automatización y el control de procesos; ayudando conjuntamente a entender la Norma ANSI/ISA S88, mediante el conocimiento de ella, así como del papel que juega en la industria.

José Everardo Molina Villanueva



CAPÍTULO I



CAPÍTULO I INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Los procesos industriales exigen el control en la fabricación de diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, etc.

En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la temperatura, la presión, la densidad, el nivel, el caudal, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual de estas variables utilizando sólo instrumentos simples, como son: manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control.

Estos instrumentos han ido liberando al operador de su función de actuación física directa y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; asimismo, gracias a los instrumentos ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual.

[Ref. 1.1].



1.1 Historia de la Instrumentación Industrial

La necesidad ha dictado muchos de los avances de la tecnología. En la instrumentación esto ha sido un poco más evidente; siendo una palabra desconocida hace apenas 50 años. En este período de desarrollo, la instrumentación ha evolucionado de ser una serie de dispositivos (desarrollados para cubrir necesidades específicas de medición y control), a ser una ciencia (en donde las premisas y la economía de las empresas originan el desarrollo de procesos y/o sistemas de instrumentación utilizando las estrategias de control disponibles).

En la década de 1920 a 1930 la instrumentación y el control se reducían a una mera indicación local de la variable (temperatura, presión, caudal, nivel, densidad, etc.) y una corrección manual del elemento final de control hasta lograr el efecto deseado. En la década de 1940 a 1950 se desarrolló la instrumentación mecánica y neumática. Al principio de los 40's poca gente conocía la teoría del control que hasta ahora es definida. En su lugar métodos empíricos fueron usados en el intento de aplicar métodos de control en problemas de proceso.

De los comienzos de la segunda guerra mundial y hasta los 50's los teóricos del control producen un cuerpo de conocimientos más completo y general para el análisis, síntesis y diseño de sistemas de control lineal. Esto ha sido referido como el período "clásico" en el desarrollo de la teoría de control. En la década de 1950 a 1960 se desarrolló la instrumentación electrónica, pero con grandes limitaciones, principalmente debido al tipo de componentes utilizados (bulbos) y al gran tamaño de los dispositivos integrados que los hacía difíciles de manejar, y de mantenimiento complicado. Los trabajos sobre la teoría del control son conocidos como los primeros del período moderno de la teoría del control.

De 1960 a 1970 se desarrolla la instrumentación electrónica de estado sólido con la consecuente miniaturización del equipo electrónico, así como se desarrollan técnicas para miniaturizar también la instrumentación neumática, lográndose con esto incrementar la información de proceso por área determinada en los tableros de control. El desarrollo de la electrónica permite la aplicación de las computadoras analógicas para el control. En la década de 1970 a 1980 se desarrolla la instrumentación electrónica de estado sólido de tipo digital y la aplicación de las computadoras digitales para el control total de grandes procesos.



El equipo de análisis (físicos y químicos) considerado una de las ramas más complejas de la instrumentación, pudo perfeccionarse para dar mediciones más confiables y precisas de características de los compuestos tales como viscosidad, conductividad, densidad, turbidez, refractometría, humedad, pH, así como la determinación cualitativa y cuantitativa de mezclas por medio de la cromatografía. Las perspectivas futuras de la instrumentación pueden ser delineadas de acuerdo con las necesidades presentes de los procesos industriales entre los que se encuentran el desarrollo de sensores con exactitudes oscilantes.

Además estos sensores deben ser inmunes a las variaciones de la temperatura ambiente, vibraciones, fluctuaciones de las fuentes de poder, así como a los medios corrosivos. Dichos sensores serían de tipo electrónico como por ejemplo, sensores de cuarzo para temperatura, y presión con excelentes características de exactitud y rango de operación, actualmente en fase de prueba, pero de enorme precio. Con el desarrollo de los microprocesadores y técnicas altamente sofisticadas para el control automático, el uso común de controladores inteligentes es esperado para lo años próximos, así como el uso de elementos finales de control de tipo digital. [Ref. 1.2 y 1.3].



Figura 1.1 Instrumentos de Medición



1.2 Importancia de la Instrumentación en los Procesos Industriales

En los procesos industriales es necesario, tarde o temprano, hacer mediciones, por lo tanto, en prácticamente todos los proyectos que el ser humano lleve a cabo, se requerirá del auxilio de la instrumentación para hacer mediciones de las condiciones en las que se encuentre el proceso. Históricamente, la medición de los parámetros de las variables más importantes y comunes de la vida humana, tales como el tiempo, la temperatura y la presión, han motivado la inteligencia del hombre para inventar formas y consecuentemente dispositivos e instrumentos para medirlos.

La medición comprende las etapas de detectar y comparar el parámetro o variable con un valor referencial que, en un inicio, fuera una escala graduada en el suelo para medir el tiempo por la sombra proyectada de una vara vertical. Posteriormente, en el siglo XVII, algunos hombres talentosos y dedicados comenzaron a examinar los fenómenos naturales de una forma lógica y racional para después comprobar sus ideas con experimentos.

Consecuentemente, hubo que desarrollar técnicas de medición que comenzaron por instalar instrumentos localmente para indicar, en una escala con aguja indicadora, la medición respectiva. Después, ya en este siglo (XX), se inventaron los tableros locales, en los que se instalaban los indicadores de las variables de procesos de áreas cercanas y se agrupaban para ser vigiladas y controladas en forma manual.

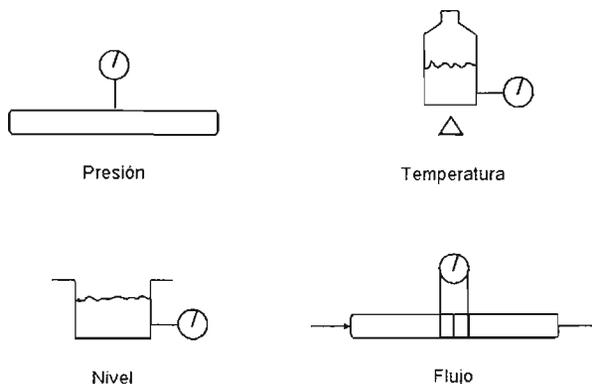


Figura 1.2 Medición Local



Cuando se desarrollaron los procesos continuos de producción por las necesidades crecientes de la población, que se multiplicó aumentando la demanda de productos, se tuvo que desarrollar la tecnología de la instrumentación, ya que además de proporcionar la medición, hubo que transmitirla a lugares centralizados, haciendo uso de señales de aire, conforme al principio de transmisión neumática, que se envían a través de tubos conectados a los instrumentos que detectan la variable en el proceso. En este caso, los receptores fueron medidores de presión que se calibran en términos de las unidades de la variable medida.

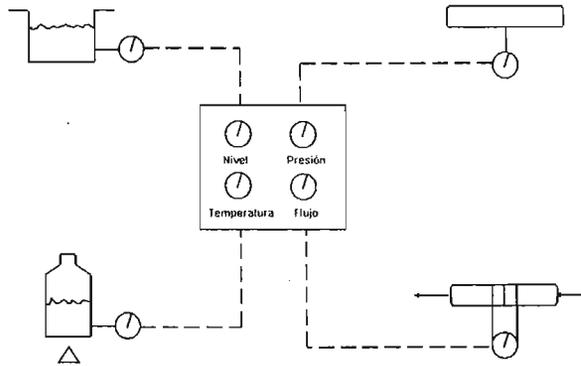


Figura 1.3 Medición Remota

En los procesos continuos de plantas industriales, además de la instrumentación de medición, es necesario contar con dispositivos de control, tales como controladores y válvulas de control, a fin de que las magnitudes del proceso que se requiere mantener en ciertos valores fijos, necesarios para lograr un grado de calidad específico, o bien para lograr que los fluidos y materiales se optimicen dentro del proceso.

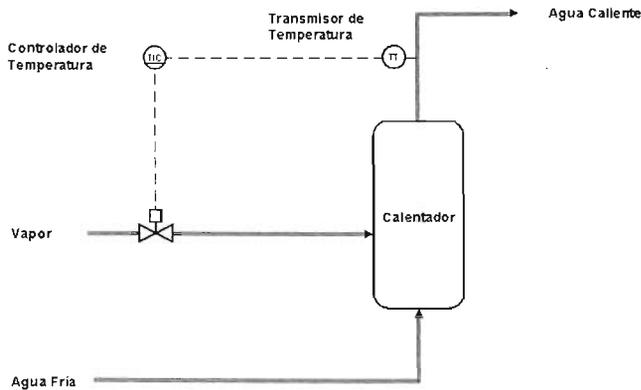


Figura 1.4 Ejemplo de un Proceso Controlado



Desde el punto de vista de un ingeniero de proceso, la variable controlada es aquella variable del proceso que nos gustaría mantener en o cercana a un valor deseado, generalmente llamado punto de ajuste. El control puede ser manual o automático. En el primer caso, el control de la variable se logra ajustando la posición de la válvula manualmente y el operador observa el valor de dicha variable en un instrumento de medición.

En el segundo caso, se hace uso de un controlador que hace la corrección de las desviaciones de la variable con respecto al punto de ajuste, para no permitir que la variable este fuera de él, lo cual significa que no habrá productos fuera de especificación. La comparación entre el punto de ajuste y la señal de medición se hace en forma continua y la corrección para posicionar la válvula también es continua, siendo éste un sistema de control automático.

La tecnología de la instrumentación y control automático ha tenido progresos muy importantes en el presente siglo, ya que, al inicio de los años 20's, se usaron sistemas manuales; en los 30's, la instrumentación neumática, que opera con señales de aire, prevaleció mayoritariamente; en los 40's y 50's, se estableció la instrumentación y el control automático eléctrico y electrónico.

En los 60's, se introdujeron las primeras computadoras digitales centralizadas, justificándose para controlar procesos grandes y complejos; en los 70's, se inició el uso del controlador lógico programable (PLC), los cuales permitieron la operación y el control en tiempo real e incluir alarmas críticas múltiples, así como el uso de modelos matemáticos de los procesos; en los 80's, se perfeccionaron los Sistemas de Control Distribuido (DCS) y Adquisición de Datos (SCADA).

Y en los últimos años de la década de 1980 y principios de 1990 se ha hecho una fuerte aplicación de los Sistemas de Control Avanzado (ACS), usando mayormente equipos de control distribuido como plataforma básica y computadoras digitales potentes (main-frames o minicomputadoras), con modelos matemáticos de control multivariable, adaptable y predictivo. Todo esto ha sido posible por el desarrollo vertiginoso de la tecnología electrónica, la computación y las matemáticas, que para el modelado del proceso se ha podido tener.



Estamos ahora en el umbral de una etapa de la tecnología de la instrumentación y el control automático en la que se podrá hacer control óptimo, tal como en el caso de valores propios, es decir, Eigenvalores, y otros que se encuentran en el concepto de control moderno, apoyado por la tecnología de lógica difusa (fuzzy logic): y en el aspecto de equipos electrónicos de control, usando procesadores que transmiten datos binarios a velocidades mayores de 100 megabits por segundo (100 MBPS). [Ref. 1.4].

La tecnología de la Instrumentación y Control Automático ha tenido progresos muy importantes en el presente siglo:

- *Hasta los 20's se usaron sistemas manuales*
- *En los 30's se usó la instrumentación neumática*
- *En los 40's y 50's se estableció la instrumentación eléctrica y electrónica*
- *En los 60's se introdujeron las primeras computadoras digitales*
- *En los 70's se inició el uso de los Sistemas de Control Distribuido (DCS) y del Controlador Lógico Programable (PLC)*
- *En los 80's se perfeccionaron los DCS y los SCADA*
- *En los 90's se ha hecho una fuerte aplicación de los Sistemas de Control Avanzado*

Figura 1.5 Desarrollo Histórico



1.3 Bases Fundamentales de la Medición

Existen esencialmente dos tipos de dispositivos que se usan en la medición: los sensores y los transductores. Los sensores son aquellos que detectan la magnitud de la variable aplicando algún tipo de principio científico de la Física, Química, Biología, Electricidad, etc. Y lo convierte en una señal entendible por el ser humano o por un receptor. Los transductores son aquellos dispositivos que convierten una forma de energía en otra, que puede ser de mecánica a eléctrica, de potencial a dinámica.

Existen dos clases esenciales de sensores: analógicos y digitales. Los analógicos producen una salida continua proporcional al cambio de un parámetro, en forma diferente u opuesta, los sensores digitales son aquellos que producen una señal de tipo abierto/cerrado o en forma de pulsos que adquieren cíclicamente un par de valores: 0/1, todo/nada, abierto/cerrado, y que no tienen continuidad. *[Ref. 1.4].*

La terminología que se emplea en la instrumentación, es específica y comprende los siguientes conceptos:

- **Rango:** Para cada instrumento de medición existe un rango determinado, que se define como el intervalo de valores de la variable, comprendido entre el límite superior y el inferior y que se establece mencionando los valores de los límites. Por ejemplo: el rango de un medidor de caudal podría ser de 0-100 GPM, donde sabemos que ese medidor trabajará con todas sus características óptimamente si se le emplea para ese rango.
- **Cero:** Es una característica que marca un punto conocido de funcionamiento de un instrumento de medición, como el punto de partida para efectuar mediciones superiores o inferiores dentro del rango del instrumento. Por ejemplo: la salida de un medidor de presión puede ser cero a la presión atmosférica.
- **Sensibilidad:** Este parámetro se define como el cambio en la salida de un instrumento por unidad de cambio en la magnitud medida. La sensibilidad depende de diversos factores que pueden variar, tal es el caso de los cambios en las propiedades mecánicas y eléctricas de un instrumento debidas a los cambios de temperatura. También, la sensibilidad depende de la exactitud y calidad de los componentes y de la estabilidad de voltajes eléctricos suministrados.



- **Resolución:** Se define como el mínimo cambio que puede detectar un instrumento. En el caso de los instrumentos analógicos, se establece en fracciones de las unidades de la magnitud medida. Por ejemplo: décimas de grado centígrado, un milímetro de agua, un décimo de pie cúbico estándar. En el caso digital, la resolución se expresa en bits (digito binario, “binary digit”).
- **Respuesta:** Es el tiempo necesario para que un instrumento alcance su salida real, cuando se le inyecta una señal de pulso cuadrado conocida como escalón. Pero también es frecuente encontrar que en el dominio de la frecuencia, la respuesta se conoce como aquella frecuencia, y se refiere a la condición de que si el sensor se somete a una señal de entrada senoidal oscilatoria de amplitud constante, entonces dará una salida proporcional a la señal de entrada.
- **Linealidad:** Es una característica que define la salida de un instrumento que es directamente proporcional a su entrada en todo su rango de medición, de manera que la gráfica de salida contra entrada será una línea recta.
- **Exactitud:** Es el grado de error o incertidumbre que produce un instrumento al efectuar una medición y que se expresa como un porcentaje de escala total (% E.T.). Por ejemplo: un sensor que tiene una exactitud de $\pm 1\%$ E.T. que tenga un rango de 0-100 unidades, tiene un valor de incertidumbre de ± 1 unidad en 100, que es igual a ± 1 unidad.
- **Histéresis:** Es una característica que se establece al incrementar la entrada de un instrumento hasta el máximo valor de su rango operativo, de manera que se describe una trayectoria, y, al disminuir del máximo al mínimo de entrada, se describe otra, pero diferente. Esta característica produce dos curvas que se unen en el valor máximo conocida como curva de histéresis.
- **Calibración:** Es un proceso que consiste en ajustar la salida de un instrumento, con respecto a su entrada, tomando como base la señal producida por un instrumento patrón.



CAPÍTULO II

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES



CAPÍTULO II AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

La automatización industrial es la ejecución de procesos controlados mecánica o electrónicamente, liberando al ser humano de operaciones rutinarias, disminuyendo así errores y a su vez aumentando la producción. [Ref. 2.1].

La automatización hoy en día es más requerida que nunca para que una industria mantenga la competitividad, los niveles de producción y los estándares de calidad exigidos en los mercados internos y externos. Gran cantidad de maquinaria y equipos de funcionamiento en las distintas industrias latinoamericanas carecen de la tecnología apropiada para producir en forma eficiente.

La adquisición de modernos equipos representa altas inversiones que no siempre son adecuadas o indispensables, aunque la modernización de los equipos existentes, por medio de sistemas electrónicos de medición, regulación y control, aumentará la eficiencia y calidad de estas, colocándolos a niveles de productividad comparables con los más modernos, amortizando así la inversión requerida para la modernización en un tiempo sorprendentemente corto.

En industrias de procesos y manufactura esto ha resultado en un gran incremento en la demanda de sistemas de control industrial con el propósito de modernizar enteramente las operaciones en términos de velocidad, confiabilidad, desempeño y versatilidad.

El propósito del control de procesos es el de mantener dentro de un valor preestablecido una determinada variable en un proceso industrial. Los sistemas de control deben tener la habilidad de arrancar, regular y parar un proceso en respuesta a la medición de variables monitoreadas dentro de él, con el objeto de obtener la salida deseada. El sistema de control ideal es aquel en donde los procesos responden instantáneamente a los cambios en los requerimientos de entrada.

La Automatización se compone de todas las teorías y tecnologías encaminadas de alguna forma a sustituir el trabajo del hombre por el de la máquina. En este capítulo daré unas ideas generales sobre esta área, la cual es tan amplia y compleja.

Conceptualmente, la automatización se basa en una reiterada aplicación del mecanismo de realimentación (feedback) y, por ello, está en ese sentido relacionada con las teorías de control y de sistemas. En cuanto a su aspecto tecnológico, puede decirse que siempre ha estado a la última, adoptando en cada momento histórico los más recientes avances.



Siendo nuestro objetivo automatizar ciertos procesos, parece claro que primero hemos de saber cómo funcionan esos procesos. Como veremos, el tipo de automatización a implantar depende del tipo de proceso a automatizar: no da lo mismo automatizar un proceso continuo que un proceso gobernado por eventos. Debido a la gran cantidad de procesos distintos que funcionan actualmente, consideraremos sólo los más importantes desde el punto de la automatización, y obtendremos modelos con sus características esenciales. Los procesos y modelos que iremos estudiando a lo largo de este capítulo son:

- Procesos continuos (tiempo continuo y/o discreto)
- Procesos comandados por eventos
- Procesos de fabricación

En una moderna factoría todos los procesos están conectados entre sí y desde la gestión de la empresa se pueden controlar y supervisar algunos o todos los procesos, a través de redes locales y buses de comunicación. También pueden estar en conexión los diferentes departamentos de la empresa, e incluso empresas diferentes a través de redes propias o de Internet. Es por ello interesante describir cada proceso como inscrito en el marco jerárquico que representa la estructura completa de la empresa. En este marco, las redes locales y los buses de comunicación cobran especial interés.

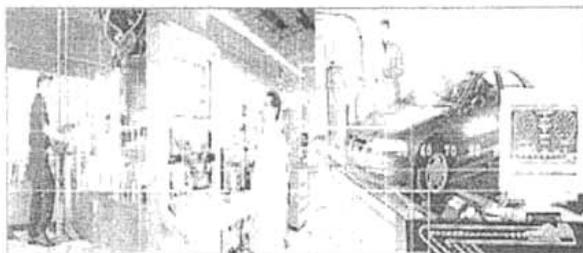


Figura 2.1 Procesos de Automatización



2.1 Perspectiva Histórica

Se cree que cuando el homo sapiens dominó el fuego, comenzó a usarlo como elemento calefactor y para condimentar alimentos. Tuvo que pasar mucho tiempo, hasta la Edad del Bronce, para que lo empleara en la obtención de metales y en la cerámica dando así lugar a los que podríamos llamar primeros procesos de fabricación de la historia. Pero el fuego no ha sido la única fuente de energía de la antigüedad. Hacia el año 2000 a. C. se utiliza por primera vez la energía eólica para mover embarcaciones dotadas de velas y, hacia el 1000 a. C., los fenicios atravesaban el Mediterráneo con sus navíos. Más tarde, sobre el 50 a. C., los Romanos empiezan a utilizar la energía hidráulica para la extracción de agua por medio de la noria. Durante la edad media se utilizó mucho, en prácticamente toda Europa, la energía generada por los molinos de viento.

La invención de la máquina de vapor por James Watt hacia 1750 es el acontecimiento que marca el inicio de la Revolución Industrial, que dura hasta finales de siglo. Las tecnologías productivas nacen en ese momento: la máquina de vapor se emplea rápidamente para mover las bombas de extracción de agua en las minas de carbón de Gales y en la automatización de los telares en Manchester.

Durante este período, con las de máquinas de vapor y luego con las de combustión interna y los motores eléctricos, se van produciendo cambios progresivos en los procesos de producción. Las máquinas herramienta ganan potencia y precisión, lo que a su vez permite fabricar productos de mayor calidad. Surgen así los primeros talleres mecánicos que producen máquinas algunas de las cuales llevan ya rudimentarios sistemas de control.

En el siglo XX, aunque ya no se denomine así, continúa la revolución industrial con un desenfadado avance tecnológico y científico. La evolución de la técnica es permanente, con una sucesión interminable de inventos y aplicaciones, muchos de los cuales (pensemos sin ir más lejos en el automóvil y en los electrodomésticos) se han convertido en herramientas básicas para el hombre actual.

Todo este desarrollo ha sido consecuencia de una premisa fundamental: la existencia de fuentes de energías inagotables y baratas. Pero su veracidad se ha puesto en entredicho con la crisis del petróleo iniciada en las últimas décadas del siglo XX.



Los sistemas productivos no han sido ajenos a todos estos avances. La empresa, motor del desarrollo del sector privado e incluso del sector público, se ve obligada casi siempre a incorporar las últimas tecnologías en sus procesos o de lo contrario corre el peligro que quedar rápidamente obsoleta. Algunas teorías, tecnologías y áreas tecnológicas cuyo avance ha favorecido la evolución de los procesos productivos son las siguientes:

○ Teorías

- Teorías de Control y de Sistemas
- Teoría de la señal
- Sistemas de eventos discretos
- Máquinas de estado
- Redes de Petri
- Gráficos etapa-transición (grafcet)
- Cartas de estado (statechart)

○ Tecnologías

- Neumática
- Hidráulica
- Electrónica
- Microprocesadores
- Ordenadores
- Automatas programables
- Robótica
- Comunicaciones
- Desarrollo del software

○ Áreas tecnológicas

- Automatización de las máquinas-herramienta
- Control de procesos por computadora
- Diseño asistido por computadora (CAD)
- Manufactura asistida por computadora (CAM y CIM)
- Control de procesos distribuidos
- Células flexibles de mecanizado y de montaje



Cabe decir que el crecimiento de la robótica no ha sido tan rápido como lo mencionaban ciertas predicciones realizadas en los primeros años de la década de 1980. Quizás esto se deba al cambio de los equipos y a la no tan evidente importancia de su flexibilidad como en principio se creía: si un robot va a hacer siempre la misma tarea, resulta más económico utilizar otro sistema menos flexible y más especializado.

Por ello, en tareas repetitivas que no requieren mucha precisión resulta aconsejable utilizar manipuladores (neumáticos por ejemplo) en vez de robots. En otras tareas más complejas (tales como la soldadura por láser) que precisan el seguimiento de trayectorias complejas, sí que el robot sigue siendo insustituible.

2.2 Empresa Productiva

Una empresa productiva es un ente socioeconómico capaz de adecuar parcialmente dos flujos esenciales que concurren en el mercado: producción y consumo. Por un lado, por medio de estudios de mercado, determina las necesidades del consumidor y le transfiere los productos que demanda y, por otro, produce los productos que le va a transferir.

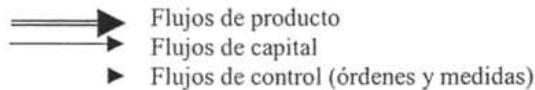
Hay otras empresas, de servicios, en las que los productos se sustituyen por servicios. Así que toda empresa puede considerarse como formada por dos subsistemas, uno de los cuales se encarga de medir las necesidades de los consumidores y de transferirles los productos que las satisfagan y el otro que se encarga de la producción. La empresa es, por tanto, un elemento productivo en el mercado pero puede verse también como elemento consumidor (de materias primas) en el mismo. La empresa se articula en departamentos o secciones de los que los más importantes tradicionalmente vienen siendo los siguientes:

- Finanzas
- Gestión
- Compras
- Almacén de materias primas
- Producción
- Almacén de productos terminados
- Ventas



Todos estos departamentos no son, ni mucho menos, los únicos existentes sino que a su vez se articulan en otros departamentos y secciones que en función del tamaño de la empresa, pueden ser de mayor o menor complejidad. Los nombres pueden cambiar según sea el contexto en que se enmarque o determine cada empresa.

La actividad de la empresa se puede representar por medio de un diagrama de bloques en el que los bloques son los procesos y las flechas son los flujos de entrada y salida de cada proceso. En la figura se han representado los principales bloques y flujos de la empresa. Los flujos que las flechas representan son:



Obsérvese que todos los bloques reciben flechas (órdenes) del bloque de gestión y envían flechas (medidas) al mismo. El bloque de gestión es el más importante en el sentido de que controla a todos los demás.

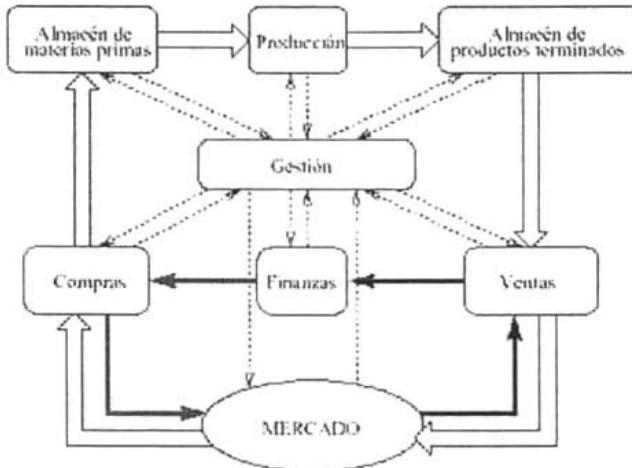


Figura 2.2 Esquema de la Empresa Productiva



El diagrama de bloques puede dividirse en dos partes. La parte superior que se encarga de la generación del producto (gestión de producción) y la parte inferior que se encarga de llevar el producto al mercado y de obtener el beneficio (gestión de mercado o mercadotecnia). Cada uno de estos bloques se subdivide a su vez en otros bloques o subprocesos, con sus flujos asociados. El objetivo de la empresa es maximizar el beneficio.

2.2.1 Proceso Productivo

Un proceso productivo es una serie de operaciones que se realizan sobre unas materias primas (o productos más elementales) para obtener un producto terminado, listo para su utilización. Una definición descriptiva de proceso productivo puede resultar muy complicada, puesto que hay muchas clases de procesos, siendo en cambio más sencillo dar una definición de tipo entrada-salida: "Un proceso productivo es un sistema dinámico de control cuya entrada es un flujo de producto (materias primas) y cuya salida es otro flujo de productos (productos terminados)".

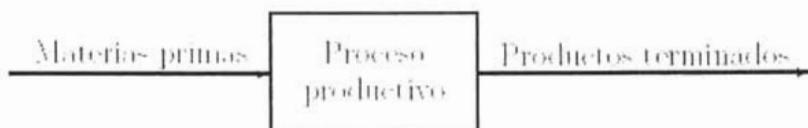


Figura 2.3 Proceso Productivo

Con una definición así perdemos toda noción de lo que sucede por dentro del proceso pero en cambio capturamos lo esencial desde el punto de vista productivo: flujos de producto de entrada y de salida (flechas) y cómo se relacionan entre sí (bloque). Sin embargo el bloque o "función" que relaciona ambos flujos no es simple sino que es un complejo sistema movido por eventos.

Un proceso productivo se compone internamente de diferentes subprocesos más simples conectados entre sí, cada uno de los cuales se puede considerar también como un sistema dinámico de control o proceso. Por tanto, hemos de tener una idea de cuáles son y cómo funcionan (o sea cuáles son sus modelos matemáticos) los sistemas de control o procesos más simples porque de ese modo podremos entender después cómo funcionan los procesos de fabricación.

Los procesos productivos están catalogados como sistemas complejos en la teoría de sistemas. La complejidad surge de la interconexión de unos procesos con otros y de la naturaleza estocástica de muchos de los eventos que dirigen la evolución del sistema. Cada proceso está conectado con otros procesos internos y externos a la empresa, que pueden ser de muy distinta naturaleza y, en general, se compone de subprocesos más simples interrelacionados entre sí.

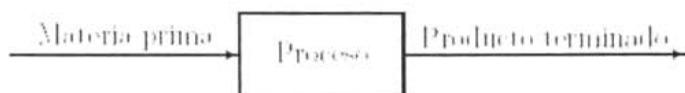


Figura 2.4 Proceso Simple

2.2.2 Operaciones Básicas de Fabricación

Los procesos de fabricación más simples se llaman operaciones básicas. Algunas de ellas son:

- Proceso de un elemento
- Proceso de montaje

- Proceso de un elemento

Es un proceso que se aplica a un solo producto, bien sea una pieza elemental o bien un conjunto de piezas ya montado. Son de este tipo los procesos de mecanizado, los de pintura, los tratamientos térmicos, etc.

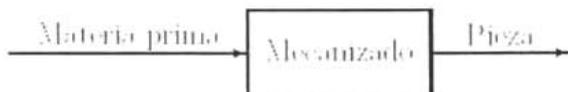


Figura 2.5 Proceso de un Elemento



- Proceso de montaje

Cuando un producto (terminado o no) se compone de varios elementos, la serie de operaciones necesarias para unir todas las piezas formando el producto terminado se llama proceso de montaje.

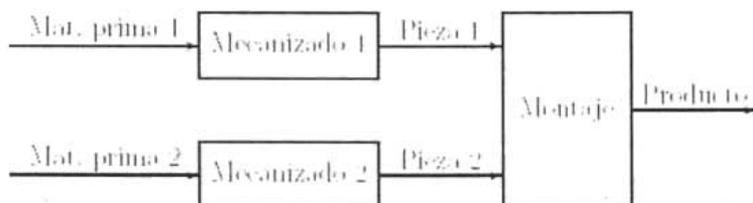


Figura 2.6 Proceso de Montaje

2.2.3 Tipos de Proceso

Si en nuestro hogar hechamos una mirada a nuestro alrededor y observamos los objetos que nos rodean, veremos que la gran mayoría de ellos son el resultado o producto de algún proceso de fabricación y nos daremos cuenta que debe existir una gran cantidad de ellos. Incluso, con un poco de imaginación y ciertos conocimientos técnicos, podemos adivinar cual ha sido el proceso para fabricar un determinado producto o, mejor dicho, los posibles procesos, ya que también nos daremos cuenta enseguida de que hay muchas formas de fabricar el mismo producto. Ahora bien, tras muchos años de experiencia, se han avanzado cuatro tipos estándar de procesos:

- Job Shops
- Producción por lotes
- Líneas de producción
- Producción continua



○ Job Shops

Es un tipo de producción que permite fabricar una amplia gama de productos en series de tamaño pequeño o mediano. Los productos suelen ser conjuntos de componentes, posiblemente complicados o de alta tecnología, montados. Se utiliza para la fabricación de ciertas máquinas herramientas, robots, aviones, aeronaves y algunos prototipos. Suelen exigir mano de obra muy especializada y mucho tiempo para el diseño de los procesos y para la preparación de la maquinaria y los equipos humanos de montaje. Por todo ello, los tiempos de producción son elevados y los costos también.

○ Producción por lotes

Está orientada a la fabricación por lotes de tamaño medio de un determinado producto. La producción de cada lote se hace de una tirada y, una vez terminado un lote, el departamento de fabricación envía una orden de control indicando si se puede pasar a fabricar otro lote del mismo o de otro producto, en función de la demanda. La maquinaria y el personal han de estar preparados para realizar con eficacia las operaciones de cambio de lote. Es quizás el tipo de producción que se emplea para fabricar mayor número de productos. Las industrias de calzado, muebles, electrodomésticos, máquina-herramienta y otras muchas, lo utilizan.

○ Líneas de producción

Estos procesos son el resultado de la evolución de la producción en cadena, ideada por Henry Ford. Se utiliza para producir grandes series de unos pocos productos, que suelen estar formados mediante el montaje de piezas. El producto se desplaza colocado en cintas transportadoras, en carros o en otros elementos de transporte y va pasando por estaciones de trabajo en cada una de las cuales se le aplica un determinado proceso.

Si en una planta se utilizan varias líneas de producción, los productos pueden pasar de una línea a otra, existiendo muchas configuraciones posibles, así como diferentes métodos y mecanismos de transferencia. Se suelen utilizar zonas o recipientes a modo de pequeños almacenes, para el almacenamiento intermedio de productos semielaborados, y alimentadores de piezas para los procesos.

Básicamente hay dos tipos de líneas: líneas de proceso y líneas de montaje. En las primeras, un producto o materia prima va pasando por distintos procesos que lo van transformando hasta llegar al producto final. Un ejemplo lo tenemos en el mecanizado de piezas. Las líneas de montaje se utilizan para fabricar productos formados por conjuntos de piezas montados.

Quizás sea la fabricación de automóviles el ejemplo más típico de este tipo de producción. Se fabrican grandes series de unos pocos modelos. Otros ejemplos son la fabricación de ciertos productos de gran consumo como neumáticos, bombillas, bicicletas, envases de plástico, etc. En este tipo de fabricación se diseña toda la factoría en función del producto a fabricar, por lo que un cambio del producto suele exigir el cierre de aquella o, al menos, una completa remodelación de la misma.

o Producción Continua

Es el tipo indicado cuando se desea producir pocos productos, de naturaleza simple (no compuestos de muchas piezas) y en grandes cantidades. Se puede ver como un flujo continuo de producto sobre el que se van realizando una serie de operaciones o procesos. Por un lado entra la materia prima y por otro sale el producto final.

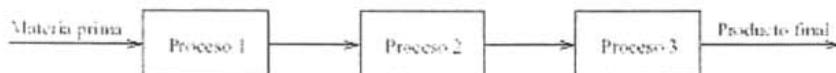


Figura 2.7 Proceso de Producción Continua

Este tipo de producción se aplica sobre todo en las industrias químicas, petroquímicas, textiles, de plástico y de laminación de acero.



2.2.4 Ubicación de los Procesos

La disposición de los procesos dentro de la planta de producción es importante porque de ella dependen muchos factores del proceso de producción así como la comodidad del personal, los cableados de alimentación y buses de comunicaciones, etc. Los programas de simulación de procesos pueden ayudar mucho en el diseño de la distribución en planta. Tradicionalmente se consideran cuatro posibilidades de ubicación

- Producto en posición fija
 - Por clases de procesos
 - En flujo de producto
 - Por tecnología de grupo
-
- Producto en posición fija

Cuando el producto es muy grande, muy pesado o, por alguna otra razón, no debe moverse, hay que ubicar las herramientas y los otros equipos de fabricación en la zona más idónea para que en su momento, puedan incidir en el producto. A veces se precisa realizar obras e instalaciones especiales para poner todo en una buena disposición. Es la disposición más indicada en las industrias naval y aeronáutica.

- Por clases de procesos

Las máquinas de producción se ubican en zonas o locales de la factoría por clases de procesos. En cada zona o local sólo se realiza un proceso. Es una distribución que se implanta mucho para procesos de mecanizado de piezas: la misma pieza va pasando por las distintas zonas hasta analizar su mecanizado. Resulta un tipo de fabricación muy flexible puesto que se puede cambiar el proceso simplemente añadiendo o quitando ciertas máquinas.



- En flujo de producto

Los elementos que intervienen en la producción se disponen a lo largo del flujo de producto. Por ejemplo, a lo largo de una línea de montaje en una fabricación de líneas dedicadas o a lo largo del flujo de producto una producción continua. No es fácil hacer cambios en el proceso.

- Por tecnología de grupo

Esta distribución está indicada para factorías con gran diversidad de productos y pretende ser una combinación de las dos anteriores. Se basa en clasificar en familias las piezas a fabricar (sin importar el producto en el que irán montadas) por su semejanza en su diseño y fabricación. Con esto se puede conseguir organizar la producción en dos partes: 1) por clases de procesos, (que fabricará las familias de piezas) y 2) en flujo de producto (que fabricará el resto de las piezas y hará los montajes pertinentes).

2.3 Proceso en Feedback

La realimentación o feedback es el artificio básico del control. Aunque suponemos que el tema es ya conocido por el lector, creemos conveniente recapacitar sobre su funcionamiento, por ser básico para muchas de las partes que se tratarán más adelante. Lo haremos (por razones históricas) a partir del primer mecanismo que lo incorporó: el governor de Watt.

2.3.1 Regulador de Watt

Aunque se conocen algunas aplicaciones de aparatos que funcionaban siguiendo el principio de la realimentación y que datan de épocas muy antiguas, se puede decir que el primer sistema de control industrial de la historia, fue el regulador (governor) inventado (o al menos adaptado) por James Watt hacia 1788 para su máquina de vapor. Veamos, a modo ilustrativo, su esquema.

En la figura 2.7 aparece la pieza quizás mas importante que suele llamarse "regulador de bolas" y que ejerce a la vez captador, regulador y actuador.

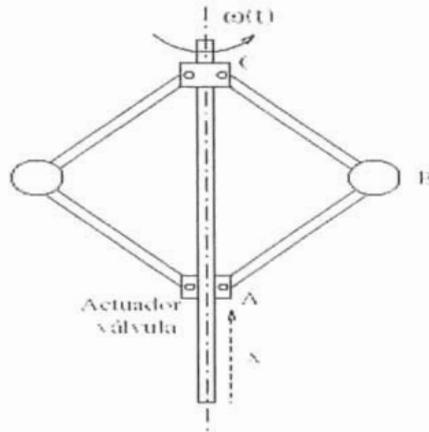


Figura 2.8 Regulador de Bola

El operador o maquinista controla la posición x_C del punto superior del cuadrilátero articulado fijando así la consigna de velocidad w_{ref} . El eje dibujado está unido al eje de rotación de la máquina de vapor. Si la velocidad $w(t)$ de esta aumenta, entonces, debido a la fuerza centrífuga, las bolas B se separan y el vértice inferior A del cuadrilátero articulado, móvil, actúa cerrando la válvula de salida de vapor de la caldera. Se establece así un proceso en "Realimentación o Feedback" que se puede explicar con el diagrama de bloques siguiente. El regulador de bolas hace las funciones del punto de suma y los bloques de captador y actuador.

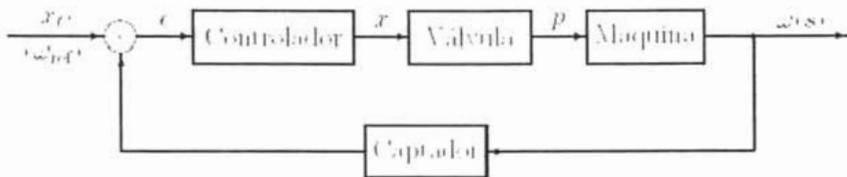


Figura 2.9 Realimentación o Feedback

La tarea que realiza este controlador es simple y efectiva: el controlador abre o cierra la válvula en función de la diferencia (e) entre la medida x_A de la salida (variable controlada) y la entrada x_C (referencia). Si e es cero entonces la medida de la salida es igual a la referencia, es decir, el valor de la variable controlada es el deseado y la salida del actuador es cero (no actúa); en caso contrario el controlador moverá la válvula en sentido de apertura o de cierre, dependiendo de que el valor (e) sea positivo o negativo.

Es fácil acoplar mecánicamente el punto A a la válvula de modo que esta se abra si $e > 0$. De este modo se consigue que la velocidad de rotación $w(t)$ del eje de la máquina se mantenga más o menos constante, incluso aunque se produzcan variaciones en la potencia entregada o en la presión p de la caldera.

2.3.2 Esquema de Regulación en Feedback

El artificio que hace funcionar al regulador de Watt es la realimentación o feedback. Una vez entendamos cómo funciona podremos comprobar, quizás con asombro, que no sólo puede aplicarse a la máquina de vapor sino que puede servir de base para controlar otros sistemas físicos de muy diferente naturaleza tales como sistemas económicos y sistemas productivos. Además, la realimentación aparece a veces como un componente básico en muchos procesos de la Naturaleza, incluso en los seres vivos.

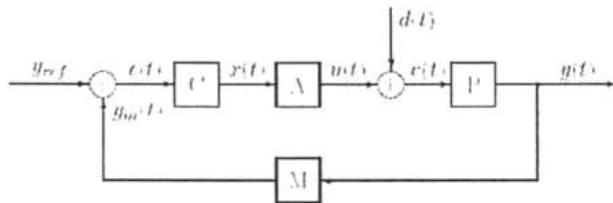


Figura 2.10 Esquema de Regulación en Feedback

Los elementos esenciales que aparecen en el regulador de Watt y que configuran todo mecanismo de control con realimentación (figura 2.10) son los siguientes:

- $y_{ref}(t)$ Entrada de referencia o de consigna
- $d(t)$ Entrada perturbadora
- $y(t)$ Salida



- C** Controlador. Es el dispositivo que toma la diferencia $e(t)$ entre la entrada de referencia y_{ref} y la medida $y_m(t)$ de la respuesta, la procesa y, como resultado del proceso, envía estímulos $x(t)$ sobre el actuador. Realmente es un procesador de señal.
- A** Actuador. Actúa, con la potencia necesaria, sobre la planta.
- P** Planta o Proceso; es el sistema a controlar (la máquina de vapor en el regulador de Watt).
- M** Medidor. Es un aparato para medir, normalmente en forma eléctrica, el valor de la salida $y(t)$.

La idea del control es simple: con la entrada de referencia y_{ref} el operador fija el valor deseado para la variable de salida $y(t)$ (a controlar); el controlador recibe en su entrada la diferencia $w(t)$ entre la entrada y_{ref} de referencia y la medida $y_m(t)$ de dicha salida en un instante t_1 , de modo que si esa diferencia es positiva ($y_m < y_{ref}$) entonces, tras el proceso de la señal $w(t)$, enviaría estímulos $x(t)$ al actuador para que éste ejerza una acción $v(t)$ sobre la planta con el fin de que el valor de la salida $y(t)$ vaya aumentando para $t > t_1$.

Cuando en otro instante $t_2 > t_1$ la diferencia e sea negativa, la acción del controlador será la inversa, es decir, ejercerá una acción $v(t)$ sobre la planta tal que el valor de la salida $y(t)$ vaya disminuyendo para $t > t_2$.

En adecuadas condiciones, si el controlador se diseña correctamente, es posible conseguir que el valor de la salida se mantenga, más o menos, igual al valor de la entrada de referencia incluso en presencia de la perturbación $d(t)$.



2.3.3 Significado del Control

Controlar un sistema dinámico significa conducirlo, llevarlo, gobernarlo o comandarlo, de tal manera que su trayectoria o evolución en el tiempo se aproxime lo más posible al punto al que se desea llegar, mediante la actuación sobre unos elementos del sistema llamados controles.

Así, un chofer controla la trayectoria de un vehículo girando el volante, pisando el acelerador y los frenos y moviendo el cambio de marchas. De forma más imprecisa, el gobierno de una nación dispone de ciertos controles, como los salarios, los impuestos, el valor de la moneda, etc., para controlar la evolución de la tasa de nación.

La Teoría de Control estudia los sistemas que son de algún modo controlables así como los problemas relacionados con este control. Un sistema de control es una entidad u objeto provisto de unos terminales de entrada (controles), por los cuales puede recibir estímulos, y otros de salida, por donde emite su respuesta. [Ref. 2.2].

Esta definición permite representar gráficamente un sistema de control como una caja negra o bloque con flechas de entrada y de salida. La siguiente figura representa un sistema monovariante, es decir, con una entrada y una salida. El sistema objeto de control suele denominarse planta o proceso, de acuerdo con sus aplicaciones en ingeniería.



Figura 2.11 Sistema Monovariante



2.3.4 Control en la Empresa

El esquema de regulación en feedback es aplicable a muchos de los procesos de la empresa, dando lugar a diferentes clases de control según sea la aplicación. Algunos de ellos son:

- Control de producción
- Control de calidad
- Control de presupuestos
- Control de procesos

Los elementos esenciales del control van a seguir siendo siempre la medida de variables del proceso a controlar, la realimentación de las variables medidas, la comparación con una consigna previamente establecida y, en función de esta última, la actuación sobre el proceso.

2.4 Automatización Industrial

Automatizar un proceso es conseguir que, aplicando el mecanismo de feedback, funcione sin intervención humana. Como veremos, esta idea resulta muy clara en el caso del control de procesos continuos, pero también se ve que funciona en el caso de otros tipos de control, como es el caso de los procesos movidos por eventos.

2.4.1 Técnicas de Control

Atendiendo a la técnica utilizada para procesar señales, el bloque de control C de la figura 2.9 se puede realizar físicamente mediante:

- Técnicas analógicas
- Técnicas digitales



o Técnicas analógicas

Es el método más antiguo de los dos y dio lugar a las técnicas de control clásicas. El proceso analógico de señales puede ser mecánico, neumático, hidráulico, eléctrico, electrónico y óptico. En el regulador de Watt es de tipo mecánico. El componente fundamental que permitió el desarrollo del control analógico fue el amplificador electrónico, inventado en la década de 1950.

La aplicación principal de las técnicas analógicas es la realización de controladores de Procesos Continuos industriales: mecanismos y máquinas movidos por motores eléctricos, procesos con fluidos, hornos, etc. Hay dos tipos que han sido, y siguen siendo, muy utilizados: el controlador de adelanto-retraso de fase y el controlador PID. En este último, las letras significan proporcional, integral, derivativo e indican el proceso, o función matemática, que realiza el controlador.

o Técnicas digitales

La aparición primero del ordenador y posteriormente de los microprocesadores, microcontroladores y del ordenador personal, así como el desarrollo de las comunicaciones, del software y de otros campos afines, han hecho que las técnicas de control se hayan sofisticado y extendido.

Las aplicaciones son muchas. En principio, las técnicas digitales se utilizaron para realizar controladores para los procesos continuos. Los controladores analógicos, y en particular el PID, hoy en día se realizan y comercializan en su versión digital.

El campo de aplicación es el mismo pero las prestaciones de los digitales son muy superiores a las de sus hermanos analógicos. Resulta más fácil sintonizarlos, es decir, ponerles los parámetros adecuados, y están preparados para poder ser operados a distancia a través de buses de comunicación.

Después, se utilizaron para el desarrollo de otros dispositivos de control, entre los que cabe destacar el autómata programable de gran aplicación en el Control de procesos de eventos discretos. Y, finalmente, han hecho posible una creciente Automatización Global, es decir, la expansión del control y las comunicaciones por toda la empresa en base a las estructuras de control que se han ido creando: control centralizado, control distribuido, control jerárquico, etc.

2.4.2 Estructuras de Automatización

En el intento de automatizar cualquier empresa siempre nos van a surgir un buen número de cuestiones: ¿Dónde va ubicado y como se realiza el control de cada proceso? ¿Cómo se conectan unos controles con otros? ¿Se pueden controlar y/o supervisar procesos desde la gestión de la empresa? Para responderlas, habremos de idear algún plan para estructurar el control.

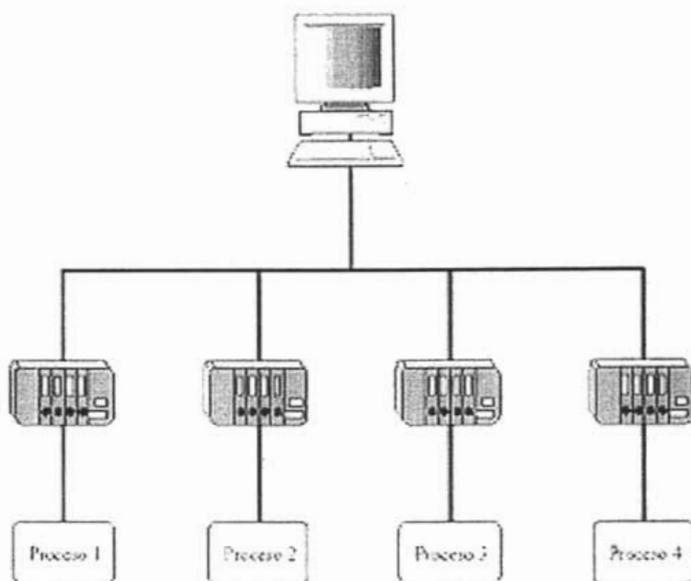


Figura 2.12 Estructura de Control: Computador – 4 Automatas



El grado de automatización deseado va a ser fundamental para trazar dicho plan. Se suelen distinguir como cuatro categorías:

- Automatización fija

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto y, por tanto, se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Un ejemplo típico puede ser la fabricación de automóviles. Un inconveniente de la automatización fija es que su ciclo de vida depende de la vigencia del producto en el mercado.

- Automatización programable

La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto y esta adaptación se realiza por medio de Software. Un ejemplo podría ser la fabricación de diferentes tipos de tornillos bajo pedido.

- Automatización flexible

Por su parte, la automatización flexible es más adecuada para un rango de producción medio. Los sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada. Suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

- Automatización total

El escalón final es la automatización total de la producción, en la que, idealmente, la fabricación, se realizará sin intervención humana. En la figura 2.11 se muestra una estructura de control sencilla compuesta por un computador que se comunica, a través de un bus, con cuatro autómatas programables cada uno de los cuales controla un determinado proceso.



2.4.3 Ventajas e Inconvenientes de la Automatización

Como es lógico, la automatización tiene sus ventajas e inconvenientes. Entre las primeras podemos citar:

- Permite aumentar la producción y adaptarla a la demanda
- Disminuye el costo del producto
- Consigue mejorar la calidad del producto y mantenerla constante
- Mejora la gestión de la empresa
- Disminuye la mano de obra innecesaria
- Hace más flexible el uso de la herramienta

Algunos inconvenientes son:

- Incremento de la demanda laboral en la sociedad
- Incremento de la energía consumida por producto
- Repercusión de la inversión en el costo del producto
- Exigencia de mayor nivel de conocimientos de los operarios

Hasta ahora no se ha dado mucha importancia al segundo punto pero cabe pensar que, en el futuro, el aumento del costo de la energía pueda repercutir en un considerable aumento de los costos de la producción automatizada. Ello nos llevará a tener que considerar nuevos métodos o, quizás, a reconsiderar antiguos métodos de fabricación semiautomatizada en la que ciertas tareas podrán ser realizadas por operarios humanos.

De hecho, aunque lamentable, es significativa la práctica de la utilización de mano de obra barata, no especializada (incluso infantil), por grandes compañías que instalan sus factorías en países subdesarrollados. En el mundo industrial actual la automatización es prácticamente imprescindible, debido a los niveles de productividad, habilidad y rentabilidad que el mercado exige a los productos elaborados para ser competitivos.



Anteriormente la automatización se aplicaba sólo al proceso productivo (a las máquinas), porque era el que más recursos humanos consumía, resultando así una automatización local. Pero hoy día podemos hablar de una automatización global ya que se ha extendido no sólo a todos los procesos de la empresa (bloques de la figura 2.2) sino también a los flujos de control (líneas a trazos de la figura 2.2), que pueden también ser automatizados mediante buses de comunicación y redes de área local; además, una empresa puede comunicarse a través de Internet con otras empresas pudiendo crearse de esta forma redes de empresas extendidas por todo el mundo.

2.4.4 Elementos de la Automatización

Hay muchas áreas y tecnologías que intervienen en la automatización. Las más importantes, junto con algunos de sus elementos, son:

Mecánica

- Herramientas
- Mecanismos
- Máquinas
- Elementos de transporte

Eléctrica

- Automatismos eléctricos
- Motores eléctricos de c.c. y c.a.
- Cableados de fuerza y de mando
- Aparillajes eléctricos en general

Tecnología Electrónica

- Controladores analógicos
- Sensores / Transductores
- Pre-accionadores
- Controladores de accionamientos
- Comunicaciones
- Telemando y Telemetría
- Sistemas de comunicación inalámbrica



Neumática electro-neumática

- Cilindros neumáticos
- Válvulas neumáticas y electro-neumáticas
- Automatismos neumáticos

Hidráulica y electro-hidráulica

- Cilindros hidráulicos
- Válvulas hidráulicas y electro-hidráulicas
- Automatismos hidráulicos

Aplicaciones de Control e Informática Industrial

- Controladores de Procesos
- Control por Computador
- Control Embutido (Embedded Control)
- Automatas Programables
- Visión Artificial
- Robótica
- Mecatrónica / Control de Movimiento
- Células de Fabricación Flexible
- Células de Mecanizado
- Células de Montaje Automático
- Control Numérico
- Sistemas CAD-CAM (Computer Aided Design & Manufacturing)
- Sistemas CIM (Computer Integrated Manufacturing System)
- Redes y buses de comunicaciones



CAPÍTULO III



CAPÍTULO III CONTROL AUTOMÁTICO

El término sistema de control automático tiene, hasta cierto punto, la función de dar una explicación por sí mismo. La palabra sistema implica no sólo un componente sino una serie de componentes que trabajan en conjunto en una forma prescrita para alcanzar una meta específica. Esta meta es el control de cierta cantidad física, dicho control se lleva a cabo de un modo automático, con frecuencia sin que sea necesaria la supervisión de un ser humano.

En el área más común de los esfuerzos civiles e industriales, el tema de control automático se vuelve como de novela con la palabra automatización. Automatización significa la producción automática de material procesado. El producto final de una planta automatizada puede ir desde extremos tales como la producción de gasolina de alto octanaje hasta un chip de computadora, donde el margen de error se mide en mieras.

Sin embargo, ya se trate de carros soldados por robots o la creación de cristales de silicón, perfectos y puros, el elemento común es que en ambos casos cada paso del proceso se encuentra bajo control y con frecuencia esto se lleva a cabo a través de medios automáticos, sin los cuales no sería posible obtener la exactitud necesaria.

Desafortunadamente, el estudio de los sistemas de control automático no resulta tan romántico como sus aplicaciones. Esto se debe a que los sistemas y procesos que se tienen que controlar son más dinámicos que estáticos. Su comportamiento se describe por medio de ecuaciones diferenciales en lugar de ecuaciones algebraicas. *[Ref. 3.1]*.

3.1 Teorías del Control Automático

Son modelos matemáticos que interrelacionan el comportamiento de las variables controladas de un proceso, referidas a la naturaleza de este y a los disturbios que lo afectan, buscando lograr su estabilidad y desempeño optimo.

Existen varios enfoques para definir estas interrelaciones, así como existen varios tipos de modelos cuya complejidad dependerá del objetivo que se persiga con la modelación. Las principales corrientes se definen en la teoría clásica del control automático y en la teoría moderna del control automático.



3.1.1 Teoría Clásica del Control Automático

Esta teoría fue la primera en ser desarrollada, a partir de los trabajos que James Watt realizara el siglo pasado para el control de turbinas de vapor mediante gobernadores de bolas. En este enfoque solo se consideran modelos con una entrada - una salida o SISO (del inglés Single Input-Single Output), que ocurren en el dominio de la frecuencia compleja.

Estas restricciones solo permiten que se manejen procesos invariables en el tiempo, relativamente lineales y con tiempos muertos moderados, lo que en general aplica para aproximadamente el 95% de los casos de control que se presentan en aplicaciones industriales.

Su expresión matemática se conoce como ecuación de control PID, esto es, la ecuación define el comportamiento de un sistema de control con tres modos que son el proporcional, el integral y el derivativo, los que se conjuntan en la siguiente ecuación:

$$(3.1) \quad m(t) = Kc * e(t) + 1 / TI * [e(t) * dt + TD * de(t) / d(t) + Mo$$

donde:

- $m(t)$ es la variable manipulada
- $e(t)$ es el error y a su vez es igual a $R(t) - C(t)$
- $R(t)$ es la variable de referencia o punto de ajuste
- $C(t)$ es la variable controlada
- Kc es la ganancia del controlador
- TI es el tiempo de integral
- TD es el tiempo de derivada
- Mo es la constante de polarización del controlador (normalmente 50%)

El procesamiento de la ecuación (3.1) requiere poca capacidad de cálculo, pero el ajuste de esta ecuación solo puede realizarse con métodos específicos o de caracterización - entonamiento, los que si requieren una capacidad de calculo considerable, aunque normalmente no proporcionan ajustes óptimos.



a) Modo Proporcional

El modo proporcional es el más simple de los modos de control y se caracteriza por establecer una relación lineal continua proporcional de la salida con respecto al error.

$$(3.2) \quad U(t) = Kc * e(t) + Mo$$

La variable $U(t)$ es una constante que actúa como un bit y cuando el error es cero, la salida del controlador toma este valor. La constante Kc es la llamada ganancia proporcional y frecuentemente se utiliza su inversa conocida como banda proporcional BP expresada en por ciento.

b) Modo Integral

Este modo sirve principalmente para disminuir el error en estado estable dado por el modo proporcional, por lo que siempre va asociado con el modo de control proporcional y se utiliza en la mayoría de los sistemas de control.

$$(3.3) \quad U(s) / E(s) = K (1 + I / Ti)$$

De la ecuación que lo define, la constante Ti se conoce como tiempo de integral, la inversa de I / Ti se conoce como “reset” o reajuste automático y se define como la cantidad de repeticiones por minuto que desarrolla el modo integral para corregir el error. La función básica de este modo es efectuar la repetición del modo proporcional tantas veces como la marque el valor de “reset”, con el fin de lograr que el error tienda a cero.



c) Modo Derivativo

Este es el modo más delicado y con el que se debe tener especial cuidado. Su función básica es anticiparse a un cambio en el error y se utiliza donde se tienen tiempos lentos y grandes tiempos muertos. Este modo también va asociado con el modo de control proporcional.

$$(3.4) \quad U(s) / E(s) = K (1 + TD)$$

De la ecuación que lo define, la constante ***TD*** se conoce como “rate” o tiempo de derivada y es el intervalo de tiempo, en que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional.

Es común llamar al modo derivativo como control de velocidad ya que cuando se aplica este modo, el valor de la salida de control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error. Cuando se le aplica en la entrada una función rampa, la salida se anticipa a una variación del error. Su desventaja y cuidado al utilizarla es que amplifica las señales de ruido provocando la saturación y la inestabilidad del sistema por lo que en variables con respuesta rápida, como el caso de flujo, no se debe utilizar.



3.1.2 Teoría Moderna del Control Automático

A partir de los trabajos realizados por Wiener en la segunda guerra mundial, se comenzó a desarrollar la teoría moderna del control automático, basada en la notación de estado, que se utilizaba con anterioridad en el estudio de la mecánica dinámica.

La notación de espacios de estado es una manera conveniente de representar sistemas de ecuaciones diferenciales de orden “n” (acopladas o no acopladas), de tal forma que sean expresadas como ecuaciones de vectores – matrices. Esto permite que los sistemas dinámicos puedan ser manipulados, transformados y estudiados mediante procedimientos sencillos de álgebra lineal.

Este enfoque permitió que se mejorara el desempeño de los modelos matemáticos, lo que permitió que se puedan manejar modelos de entradas múltiples – salidas múltiples o MIMO (del inglés Múltiple Input – Múltiple Output), que se manifiesta en el dominio del tiempo.

Este modelo permite que se manejen procesos variables en el tiempo, con fuertes no linealidades y con cualquier tiempo muerto, por lo que en general aplica a casos de control que no se pueden manejar satisfactoriamente con la ecuación PID.

La ecuación de estado de control automático dada por Wiener, es la siguiente:

$$(3.5) \quad \begin{aligned} \dot{x}(t) &= A^*x(t) - B^*u(t) \\ y(t) &= C^*x(t) \end{aligned}$$



donde:

- $x(t)$ es el vector de las variables de estado (de magnitud $n \times 1$)
- $u(t)$ es el vector de las variables manipuladas (de magnitud $m \times 1$)
- $y(t)$ es el vector de las variables de salida (de magnitud $j \times 1$)
- A es la matriz de parámetros de estado (de magnitud $n \times n$)
- B es la matriz de parámetros de entrada (de magnitud $m \times n$)
- C es la matriz de parámetros de salida (de magnitud $j \times n$)

Con la finalidad de tener una analogía con otras cantidades o parámetros, se puede establecer lo siguiente:

$x(t)$ se puede interpretar como la salida de los integradores o elementos de retraso, en un diagrama de bloques o de señales del proceso; este vector es de orden consistente con el orden del proceso dinámico.

$u(t)$ es la lista de cosas que se pueden ver o medir del proceso dinámico.

$y(t)$ es la lista de variables que son usadas para controlar o que alteran el proceso dinámico.

El procesamiento de las ecuaciones (3.5) requieren una gran capacidad de cálculo, pero el ajuste de estas ecuaciones se realiza con métodos mas directos, los que normalmente proporcionan ajustes óptimos. Se puede considerar que la teoría moderna de control automático es de carácter general, ya que la teoría clásica del control automático es un caso particular de esta. [Ref. 3.2].



3.2 Esquemas de Control

3.2.1 Control Lógico

La naturaleza de las variables controladas, en este esquema es de carácter booleano o discreto, esto es solo presentan dos estados; existencia o no existencia, 1 ó 0, Sí ó No. La finalidad de este esquema de control es la de conformar los estados de una serie de variables booleanas con respecto a patrones o combinaciones de referencia predefinidos. Los patrones predefinidos buscan el cambio ordenado de las condiciones de operación, la detección y manejo de condiciones anormales y en caso crítico el paro ordenado de los procesos.

3.2.2 Control Regulatorio

En el esquema de control regulatorio, la variable controlada, de naturaleza continua, busca igualar a la variable de referencia $R(t)$, que en este caso es normalmente constante. Dentro del control regulatorio se pueden diferenciar varios niveles los que dependerán de la complejidad de los algoritmos aplicados, así tenemos que de menor a mayor complejidad estos niveles se clasifican como control regulatorio convencional, control avanzado, control de optimización y control gerencial.

a) Control Regulatorio Convencional

En este esquema de control, la variable controlada $C(t)$ busca igualar a la referencia $R(t)$, la que normalmente es de naturaleza constante o poco variante con respecto al tiempo, esto mediante la modificación de la variable manipulada $m(t)$. La ecuación que define a este esquema de control es la ecuación PID, así como combinaciones sencillas de circuitos de control. El principal objetivo de este tipo de control es la estabilización de los procesos.



b) Control Avanzado de Procesos

El objetivo de este tipo de control es aumentar la controlabilidad de los procesos, esto es, la habilidad de los circuitos de control de manejar condiciones cambiantes en rangos cada vez mas amplios, lo que en algunos casos se logra mediante la aplicación de técnicas complementarias al control PID, mientras que en otros se requiere la aplicación de técnicas relativas a la Teoría Moderna del Control Automático.

- Control Adaptivo

Es un sistema capaz de ajustar sus parámetros a diferentes condiciones de operación. El control adaptivo clásico utiliza controladores lineales, en los que sus parámetros son adaptados en tiempo real, para controlar procesos en los cuales sus desconocidos, por lo que sigue un modelo de referencia. Por ejemplo, en los 80's existieron controladores universales que almacenaban en memoria dos valores diferentes de parámetros de entonamiento que se utilizaban automáticamente, de acuerdo a las condiciones de operación del proceso.

- Control Robusto

La robustez esta definida como la habilidad de un sistema para mantener su funcionalidad bajo condiciones internas y externas anormales o no contempladas (a posteriori). Sus parámetros básicos son la estabilidad y el rendimiento. El control robusto es el control que tiene esta característica. Actualmente esta característica es una de las más importantes que se deben de considerar. Es un tipo de control adaptivo, y esta basada en la estabilidad, rendimiento y optimización de los controladores.



- Control Inteligente

Inteligencia es la capacidad para adquirir y aplicar el conocimiento. El control inteligente es aquel que presenta actividades cognoscitivas y en ello radica su diferencia básica con el control clásico. Existen tres grandes grupos en este tipo de control basado en reglas, razonamiento basado en modelos y control difuso.

- Control Difuso

El control difuso puede considerarse también como un control basado en reglas, sólo que utiliza las técnicas difusas para manejar la imprecisión. Los controladores difusos implantan estrategias de control que se expresan en términos lingüísticos por los operadores de proceso y para ello utilizan técnicas de lógica difusa.

La lógica difusa fue desarrollada por Lotfi Zadeh en 1965, en la lógica binaria, la transferencia de un estado a otro, es instantánea (valores 0 y 1), en la lógica difusa, la transición puede ser gradual, ya que un elemento puede tener múltiples estados discretos, es decir un conjunto difuso que puede tener más de dos elementos. A groso modo, se puede decir que es una lógica que contempla dos o más estados binarios y esta soportada por una teoría de conjuntos difusos, así como la lógica binaria esta basada en la teoría de conjuntos convencional.

Sus ventajas son que: permiten utilizar el conocimiento operacional sobre el control del sistema, obtenible de expertos humanos, son más robustos, permiten realizar control multivariable de forma simple, pueden alcanzar mejores comportamientos de reguladores PID clásicos y admiten diversos modos de supervisión.



- Control Multivariable

Es un sistema de control que cuenta con más de una entrada y de una salida. Normalmente son conocidos como MIMO. Actualmente utilizando el control inteligente, es mucho más sencillo hacer aplicaciones de control multivariable, ya que las diferentes técnicas de control inteligente permiten su manejo e inclusive su interacción. El control multivariable robusto es aquel que maneja la característica multivariable y es robusto.

- Control Experto

Las técnicas de representación del conocimiento, con su capacidad de abstracción y los sistemas de decisión inteligentes han permitido, en los últimos años, sugerir mejores actuaciones que aquellas basadas en una lógica preprogramada para casos particulares en el área del control. Astrom en 1986 planteó el término control experto al referirse a la incorporación de un sistema experto basado en reglas como elemento integrante de un sistema de control. Los sistemas de control expertos se justifican verdaderamente en aquellos procesos complejos donde las técnicas clásicas de control no son aplicables.

c) Control de Optimización

Mientras que los objetivos del control regulatorio convencional y del control avanzado de procesos, son de carácter preponderantemente operativos (aunque con inherentes beneficios económicos), el objetivo del control de optimización es el de aumentar la productividad de los procesos, lo que solo se puede realizar después de haber aplicado los dos esquemas anteriores.



El tipo de modelos que se utilizan en este esquema requieren una capacidad de procesamiento muy grande, y en algunos casos información actualizada de costos de insumos, de productos y así como de políticas corporativas, ya que estos modelos hacen interactuar aspectos económicos. Las estrategias que se clasifican dentro de este esquema son las siguientes:

- Modelación Dinámica de Procesos
- Modelación Económica
- Control de Inventarios
- Programación de la Producción
- Rutinas de Mantenimiento
- Control de la Calidad
- Asignación de Recursos

d) Control Gerencial

Aunque las estrategias que se incluyen en esta clasificación, se pueden considerar dentro del ámbito meramente administrativo, su estructura aun se define por los lineamientos de la teoría del control. El objetivo de estas estrategias es el aumento de las utilidades de los procesos, clasificándose las siguientes:

- Control de Nominas
- Control de Personal
- Contabilidad
- Control Financiero
- Establecimiento de Políticas
- Sistemas Gerenciales de Procedimientos de Información



3.2.3 Control Secuencial

En este esquema de control, las variables controladas también son de naturaleza booleana, la finalidad de este tipo de control es el de permitir la ocurrencia ordenada, de determinados eventos en un orden preestablecido. En este tipo de control también se realizan acciones de control lógico, por lo que es común que se relacionen estos dos últimos esquemas de control como control lógico secuencial.

3.2.4 Control Servo o de Seguimiento

Similarmente al control regulatorio, la variable controlada de naturaleza continua, busca seguir y en su oportunidad igualar a la variable de referencia $R(t)$, la que en este caso es una función variante con respecto al tiempo.

3.3 Control Automático

El control automático de procesos es parte del progreso industrial desarrollado durante lo que ahora se conoce como la segunda revolución industrial. El uso intensivo de la ciencia de control automático es producto de una evolución que es consecuencia del uso difundido de las técnicas de medición y control. Su estudio intensivo ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas.

El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo de los procesos industriales, lo que compensa con creces la inversión en equipo de control. Además hay muchas ganancias intangibles, como por ejemplo la eliminación de mano de obra pasiva, la cual provoca una demanda equivalente de trabajo especializado. La eliminación de errores es otra contribución positiva del uso del control automático.



El principio del control automático o sea el empleo de una realimentación o medición para accionar un mecanismo de control, es muy simple. El mismo principio del control automático se usa en diversos campos, como control de procesos químicos y del petróleo, control de hornos en la fabricación del acero, control de máquinas herramientas, y en el control y trayectoria de un proyectil.

El uso de las computadoras analógicas y digitales ha posibilitado la aplicación de ideas de control automático a sistemas físicos que hace apenas pocos años eran imposibles de analizar o controlar.

Es necesaria la comprensión del principio del control automático en la ingeniería moderna, por ser su uso tan común como el uso de los principios de electricidad o termodinámica, siendo por lo tanto, una parte de primordial importancia dentro de la esfera del conocimiento de ingeniería. También son tema de estudio los aparatos para control automático, los cuales emplean el principio de realimentación para mejorar su funcionamiento.

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

El elemento más importante de cualquier sistema de control automático es lazo de control realimentado básico. El concepto de la realimentación no es nuevo, el primer lazo de realimentación fue usado en 1774 por James Watt para el control de la velocidad de cualquier máquina de vapor. A pesar de conocerse el concepto del funcionamiento, los lazos se desarrollaron lentamente hasta que los primeros sistemas de transmisión neumática comenzaron a volverse comunes en los años 40's, los años pasados han visto un extenso estudio y desarrollo en la teoría y aplicación de los lazos realimentados de control.

En la actualidad los lazos de control son un elemento esencial para la manufactura económica y próspera de virtualmente cualquier producto, desde el acero hasta los productos alimenticios. A pesar de todo, este lazo de control que es tan importante para la industria está basado en algunos principios fácilmente entendibles y fáciles. Este artículo trata éste lazo de control, sus elementos básicos, y los principios básicos de su aplicación.



3.3.1 Función del Control Automático

La idea básica de lazo realimentado de control es más fácilmente entendida imaginando qué es lo que un operador tendría que hacer si el control automático no existiera.

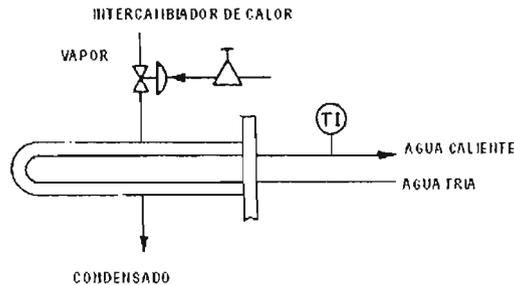


Figura 3.1 Lazo Realimentado de Control

La figura 3.1 muestra una aplicación común del control automático encontrada en muchas plantas industriales, un intercambiador de calor que usa calor para calentar agua fría. En operación manual, la cantidad de vapor que ingresa al intercambiador de calor depende de la presión de aire hacia la válvula que regula el paso de vapor.

Para controlar la temperatura manualmente, el operador observaría la temperatura indicada, y al compararla con el valor de temperatura deseado, abriría o cerraría la válvula para admitir más o menos vapor. Cuando la temperatura ha alcanzado el valor deseado, el operador simplemente mantendría esa regulación en la válvula para mantener la temperatura constante. Bajo el control automático, el controlador de temperatura lleva a cabo la misma función. [Ref. 3.3].

La señal de medición hacia el controlador desde el transmisor de temperatura (o sea el sensor que mide la temperatura) es continuamente comparada con el valor de consigna (set-point en Inglés) ingresado al controlador. Basándose en una comparación de señales, el controlador automático puede decir si la señal de medición está por arriba o por debajo del valor de consigna y mueve la válvula de acuerdo a ésta diferencia hasta que la medición (temperatura) alcance su valor final.



3.3.2 Lazo Realimentado o Feedback

El lazo realimentado o feedback de control simple sirve para ilustrar los cuatro elementos principales de cualquier lazo de control (figura 3.2).

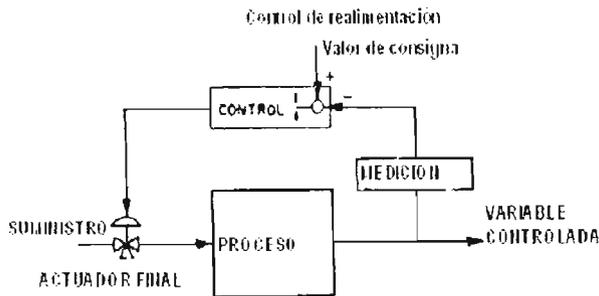


Figura 3.2 Lazo de Control Automático

La medición debe ser hecha para indicar el valor actual de la variable controlada por el lazo. Mediciones corrientes usadas en la industria incluyen caudal, presión, temperatura, mediciones analíticas tales como pH, ORP, conductividad y muchas otras particulares específicas de cada industria.

3.3.3 Controlador Automático

El último elemento del lazo es el controlador automático, su trabajo es controlar la medición. “controlar” significa mantener la medición dentro de límites aceptables. En éste artículo, los mecanismos dentro del controlador automático no serán considerados.

Por lo tanto, los principios a ser tratados pueden ser aplicados igualmente tanto para los controladores neumáticos como para los electrónicos y a controladores de todos los fabricantes. Todos los controladores automáticos usan las mismas respuestas generales, a pesar de que los mecanismos internos y las definiciones dadas para estas respuestas pueden ser ligeramente diferentes de un fabricante al otro.



Un concepto básico es que para que el control realimentado automático exista, es que el lazo de realimentación, esté cerrado. Esto significa que la información debe ser continuamente transmitida dentro del lazo. El controlador debe poder mover a la válvula, la válvula debe poder afectar a la medición, y la señal de medición debe ser reportada al controlador. Si la conexión se rompe en cualquier punto, se dice que el lazo está abierto.

Tan pronto como el lazo se abre, como ejemplo, cuando el controlador automático es colocado en modo manual la unidad automática del controlador queda imposibilitada de mover la válvula. Así las señales desde el controlador en respuesta a las condiciones cambiantes de la medición no afectan a la válvula y el control automático no existe.

3.3.4 Controlando el Proceso

Al llevar a cabo la función de control, el controlador automático usa la diferencia entre el valor de consigna y las señales de medición para obtener la señal de salida hacia la válvula. La precisión y capacidad de respuesta de estas señales es la limitación básica en la habilidad del controlador para controlar correctamente la medición.

Si el transmisor no envía una señal precisa, o si existe un retraso en la medición de la señal, la habilidad del controlador para manipular el proceso será degradada. Al mismo tiempo, el controlador debe recibir una señal de valor de consigna precisa (set-point).

En controladores que usan señales de valor de consigna neumática o electrónica generadas dentro del controlador, una falla de calibración del transmisor de valor de consigna resultará necesariamente en que la unidad de control automático llevará a la medición a un valor erróneo.

La habilidad del controlador para posicionar correctamente la válvula es también otra limitación. Si existe fricción en la válvula, el controlador puede no estar en condiciones de mover la misma a una posición de vástago específica para producir un caudal determinado y esto aparecerá como una diferencia entre la medición y el valor de consigna.



Intentos repetidos para posicionar la válvula exactamente pueden llevar a una oscilación en la válvula y en la medición, o, si el controlador puede sólo mover la válvula muy lentamente la habilidad del controlador para controlar el proceso será degradada. Una manera de mejorar la respuesta de las válvulas de control es el uso de posicionadores de válvulas, que actúan como un controlador de realimentación para posicionar la válvula en la posición exacta correspondiente a la señal de salida del controlador.

Los posicionadores, sin embargo, deberían ser evitados a favor de los elevadores de volumen en lazos de respuesta rápida como es el caso de caudal de líquidos a presión. Para controlar el proceso, el cambio de salida del controlador debe estar en una dirección que se oponga a cualquier cambio en el valor de medición.

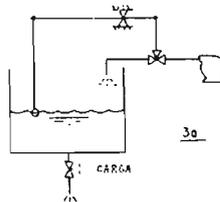


Figura 3.3 Acción de Control Proporcional

La figura 3.3 muestra una válvula directa conectada a un control de nivel en un tanque a media escala. A medida que el nivel del tanque se eleva, el flotador es accionado para reducir el caudal entrante, así, cuanto mas alto sea el nivel del líquido mayor será el cierre del ingreso de caudal. De la misma manera, medida que el nivel cae, el flotante abrirá la válvula para agregar más líquido al tanque. La respuesta de éste sistema es mostrada gráficamente.

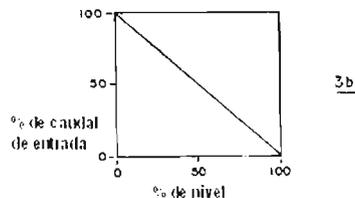


Figura 3.4 Respuesta del Sistema

A medida que el nivel va desde el 0% al 100%, la válvula se desplaza desde la apertura total hasta totalmente cerrada. La función del controlador automático es producir este tipo de respuesta opuesta sobre rangos variables, como agregado, otras respuestas están disponibles para una mayor eficiencia del control del proceso.



3.3.5 Características del Proceso y Controlabilidad

El controlador automático usa cambios en la posición del actuador final para controlar la señal de medición, moviendo el actuador para oponerse a cualquier cambio que observe en la señal de medición. La controlabilidad de cualquier proceso es función de lo bien que una señal de medición responde a éstos cambios en la salida del controlador; para un buen control la medición debería comenzar a responder en forma rápida, pero luego no cambiar rápidamente. Debido al tremendo número de aplicaciones del control automático, caracterizando un proceso por lo que hace, o por industria, es una tarea engorrosa.

Sin embargo, todos los procesos pueden ser descriptos por una relación entre las entradas y las salidas. La figura 3.5 ilustra la respuesta de la temperatura del intercambiador de calor cuando la válvula es abierta incrementando manualmente la señal de salida del controlador. Al comienzo, no hay una respuesta inmediata en la indicación de temperatura, luego la respuesta comienza a cambiar, se eleva rápidamente al inicio, y se aproxima al final a un nivel constante.

El proceso puede ser caracterizado por dos elementos de su respuesta, el primero es el tiempo muerto (dead time en Inglés), o sea el tiempo antes de que la medición comience a responder, en éste ejemplo, el tiempo muerto se eleva debido a que el calor en el vapor debe ser conducido hasta el agua antes de que pueda afectar a la temperatura, y luego hacia el transmisor antes de que el cambio pueda ser percibido.

El tiempo muerto es una función de las dimensiones físicas de un proceso y cosas tales como las velocidades de correas y regímenes de mezcla. Segundo, la capacidad de un proceso es el material o energía que debe ingresar o abandonar el proceso para cambiar las mediciones, es, por ejemplo, los litros necesarios para cambiar el nivel, las calorías necesarias para cambiar la temperatura, o los metros cúbicos de gas necesarios para cambiar la presión.

La medición de una capacidad es su respuesta para un paso de entrada. Específicamente, el tamaño de una capacidad es medida por una constante de tiempo, que es definido como el tiempo necesario para completar el 63% de su respuesta total.



La constante de tiempo es una función del tamaño del proceso y del régimen de transferencia de material o energía. Para este ejemplo, cuanto mas grande sea el tanque, y menor el caudal de vapor, mayor será la constante de tiempo. Estos números pueden ser de tan sólo algunos segundos, y tan largos como varias horas. Combinados con el tiempo muerto, los mismos definen cuanto tiempo lleva para que la señal responda a cambios en la posición de la válvula.

Un proceso puede comenzar a responder rápidamente, pero no cambiar muy rápido si su tiempo muerto es pequeño y su capacidad muy grande. En resumen, cuanto mayor sea la constante de tiempo de la capacidad comparada con el tiempo muerto, mejor será la controlabilidad del proceso.

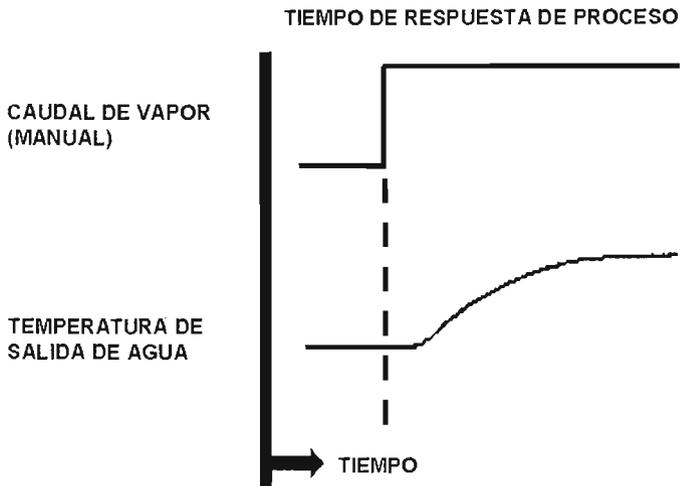


Figura 3.5 Tiempo de Respuesta de Proceso



CAPÍTULO IV



CAPÍTULO IV CONTROL DE PROCESOS POR LOTES

Los procesos de fabricación industriales generalmente pueden ser clasificados como continuos, discretos, o por lotes. Cómo un proceso es clasificado depende sobre todo si el rendimiento del producto aparece en un flujo continuo o en lotes discretos o en cantidades.

En un proceso continuo, el producto es hecho pasando los materiales a través de las diferentes piezas del equipo especializado; cada una de estas piezas del equipo opera con suerte en un solo régimen estacionario y realiza una la función del proceso especializado. El rendimiento del producto de un proceso continuo aparece en un flujo continuo.

En la fabricación discreta, muchos de los productos son tradicionalmente manufacturados en la producción (un grupo de productos que tienen en común las materias primas y las historias del producto). En un proceso de fabricación discreto, una cantidad especificada de movimientos del producto, como una unidad (o grupo de partes), entre los puestos de trabajo; mantiene su única identidad. Uno de sus rasgos útiles es la habilidad para intervenir la calidad económicamente y responder a la demanda creciente de clientes por la localizabilidad.

¿Así que cuál es un proceso por lotes? *Shaw [Ref. 4.1]* da la siguiente definición de un proceso por lotes:

“Se considera que un proceso es por lotes en la naturaleza si, debido a la estructuración física del equipo del proceso o debido a otros factores, el proceso consiste en una sucesión de uno o más pasos (o fases) eso debe realizarse en un orden definido. La realización de esta sucesión de pasos crea una cantidad finita de producto final. Si más del producto será creado, la sucesión debe repetirse.”



Los procesos por lotes son los procesos discontinuos. Se preparan los ingredientes secuencialmente, se surte, se cocina, se prepara, se da el acabado, y empaquetamos. Cuando los ingredientes se combinan en las proporciones apropiadas y se expone a las condiciones requeridas del proceso durante los tiempos necesarios, el proceso normalmente produce un producto aceptable. Los procesos por lotes no son discretos ni continuos; sin embargo, ellos tienen características de ambos.

Desde un punto de vista del control, una distinción mayor entre los tipos de procesos (continuo, discreto, y por lotes) es la frecuencia de empezar la fabricación de un nuevo producto. *Staples [Ref. 4.2]* proporciona una comparación de las características de los tres tipos de procesos, de nuevo da una perspectiva del control de proceso (vea Tabla 4-1).

Tabla 4.1

Comparación de las características del control Continuo, Discreto y Por Lotes

| | Continuo | Discreto | Por Lotes |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Frecuencia del Producto | Semanas | Segundos | Horas |
| El Tamaño de la Porción | Grande | Pequeño | Medio |
| El Volumen Obrero | Pequeño | Alto | Medio |
| Eficiencia del Proceso | Alto | Bajo | Medio |
| I/O %Discreto / %Analógico | 5.95 | 95.5 | 60.4 |
| Tipos de Sistemas de Control | DCS | PLC | Varios |

Pueden hacerse productos en un proceso por lotes en uno o unos vasos. Estos vasos se toman a menudo a través de varios funcionamientos en que se realizan las funciones del proceso múltiples. La importancia de las características de un lote se extiende más allá de la realización del lote. Los productos de un sistema por lotes normalmente tienen una única identidad. Esto significa que particularmente bueno (o malo) pueden aislarse los lotes, y puede usarse la información histórica de estos lotes para perfeccionar los parámetros del control para los lotes subsecuentes.

Los fabricantes por lotes están enfrentando ahora las mismas demandas de clientes para la localizabilidad del producto y gancho de calidad. Una necesidad para la buena recolección de datos y procesado en los sistemas del control por lotes está siendo el resultado de los efectos de organismos de control gubernamentales, como la administración de alimentos y drogas. Esta localizabilidad puede ser un concepto sumamente importante al considerar la fabricación y el control de objetivos.



4.1 Sistemas de Control por Lotes

Cualquier sistema de control es regulatorio, discreto, o secuencial. ¿Así, que es un sistema de control por lotes?

Un sistema de control por lotes proporciona la producción de múltiples productos a través del procesado de recetas que controlan las variables en el control regulatorio, en el control discreto, y en los dominios del control secuencial. [Ref. 4.6].

En la actualidad, más sistemas de control por lotes llevan a cabo con relativamente sinceridad las estrategias de control. Incluso donde se usan controladores programables, sistemas de control distribuidos, o computadoras de procesos, las aplicaciones tienden a simular las mismas tareas realizadas usando tradicionalmente relevadores lógicos y controladores analógicos.

Las capacidades del monitoreo requeridas para las aplicaciones del control por lotes difieren de aquéllos encontrados en el control regulatorio para los procesos continuos. Desde que los procesos por lotes son dinámicos por naturaleza, ellos tienen muchos eventos transeúntes a ser supervisados.

Estos datos transeúntes pueden ser una valiosa herramienta para la optimización del proceso, pero se requieren mayores cantidades de cálculo en los sistemas de control para poder capturar y procesar estos datos que podrían ser necesarios para completar el control regulatorio.

La versatilidad de un sistema de control por lotes generalmente determina su efectividad en las aplicaciones por lotes. Un sistema de control por lotes típico debe ocuparse dado el pulso y otras entradas discretas así como de las señales analógicas debido a la amplia gama de sensores y servomotores que probablemente son encontrados.



Las funciones típicas [Ref. 4.3 y 4.4] que deben realizarse son:

1. Llevando a cabo el control retroalimentado de flujos, temperaturas, presiones, y niveles, así como las estrategias de control avanzadas.
2. Realizando la lógica por enclavar, incluso enclavamientos de seguridad que se necesitan para proteger al personal, al equipo, y al ambiente de los efectos dañinos de los arriesgados procesos químicos.
3. Realizando los cálculos para las tareas como el balance del caldeo.
4. Proporcionando el control secuencial por lotes que involucra los ingredientes de la mezcla, mientras se esta calentando, esperando la reacción para completar, mientras se esta enfriando y descargando el producto resultante, etc., Esto requiere la lógica flexible y la secuencia que se ocupa dadas las capacidades para acomodar el gran número de procesos alternativos, y la recuperación no intencional y condiciones de fracaso. Esto es el resultado del gran número de vasos del proceso, la bomba, los motores, las válvulas, los interruptores de límites, etc., eso es típico de los procesos por lotes.
5. Fijando y rastreando el funcionamiento de unidades de tratamiento múltiples.
6. Cargando los materiales en tanques por lotes o reactores. Esto incluye el cobro de los materiales medidos, si por peso o volumen, como se especifica en cada receta.
7. Ajustando los puntos fijos de las variables del proceso (temperatura, presión, nivel, flujo, etc.) como son requeridos. Esto incluye rampas en los puntos fijos puestos arriba o abajo y sosteniéndolos para un periodo prescrito de tiempo.
8. Transfiriendo los materiales a la realización del funcionamiento del proceso.
9. Detectando el extremo de las condiciones de la reacción si ese esté por el análisis del laboratorio, la temperatura, la viscosidad, etc.



10. Reportando la información con respecto a los lotes producidos en un lote, cambio, periódico, o la base semanal.
11. Guardando el operador concientemente el estado del proceso y siendo él o ella efectivamente capaces de actuar recíprocamente con las recetas y con los controles secuenciales, regulatorios, y discretos.
12. Manteniendo la información completa (recetas) requeridas para fabricar cada producto, o grado de calidad de cada producto, incluso los nombres y cantidades de ingredientes, temperatura y presión en los puntos fijos, tiempos de proceso, y puntos de muestra.

Realizando juntos todas estas funciones diferentes de trabajo se hace la llave a un sistema de control por lotes eficaz. El hardware y software necesarios para controlar los procesos continuos están dentro del alcance de la tecnología actual. Los operadores esperan supervisar el proceso y sólo intervenir si se descubren circunstancias anormales.

Esto puede dejar al operador con poco que hacer, necesitando sólo tomar la acción cuando el proceso está más bien en un transeúnte régimen estacionario. Este estado transeúnte puede ser debido a las perturbaciones externas, a los cambios de la calidad, a los ajustes en los puntos fijos que han perturbado el sistema o a la iniciación o al cierre de unidades.

El control, el equipo así como la práctica, se desarrollan más favorablemente para procesos continuos que para procesos por lotes. Esto era principalmente porque los incentivos económicos estaban tradicionalmente más enfocados al mejoramiento de la eficacia o a la capacidad de alto volumen de la planta, como se encuentra en los procesos continuos.

Hoy, en día hay un énfasis en actualizar el control de procesos por lotes aprovechando la mayor flexibilidad de estas plantas y mejorando la efectividad del costo y la seguridad de las cortas carreras de producción.



4.2 Tipos de Control para los Procesos por Lotes

Los elementos esenciales de un sistema del control por lotes son las funciones de control regulatorio, discreto, y secuencial que combinan regulación de variables continuas y control de dispositivos discretos según algunas determinadas secuencias de operación. [Ref.4.11]. Las funciones de control regulatorio, discreto, y secuencial se definen como sigue:

1. Control Regulatorio – Manteniendo los rendimientos de un proceso como cerrado como posible a su respectivo valor del punto fijo a pesar de las influencias de cambio en el punto fijo y a sus perturbaciones.
2. Control Discreto – Manteniendo el rendimiento de un proceso a un valor designado escogido para un juego de estados estables conocidos.
3. Control Secuencial – Una clase de control de proceso industrial funciona en que el objetivo es una secuencia del proceso a través de una serie de estados distintos.

En la suma de las condiciones del proceso supervisado y controlado, los controles por lotes deben coordinar sucesiones de eventos y estrechamente deben controlar la oportunidad y el progreso de eventos del proceso. Muchas aplicaciones por lotes requieren significativamente más de control secuencial y discreto que de control regulatorio.

Como una complicación extensa, todos los sistemas de control requieren sistemas de seguridad que actúan independientemente de las funciones de control secuencial, discreto, o regulatorio. Los sistemas de seguridad son las funciones de control que previenen acciones anormales del proceso que arriesgarían la seguridad del personal, dañarían el ambiente, o dañarían el equipo.



4.2.1 Control Regulatorio

El control regulatorio de un proceso por lotes es básicamente igual que el control regulatorio para un proceso continuo. Involucra el monitoreo y manipulación de variables del proceso de la misma manera. El proceso por lotes, sin embargo, es discontinuo. Esto agrega una nueva dimensión al control regulatorio debido a las frecuentes aperturas y cierres. Durante estos estados transeúntes, los parámetros del control, como los ajustes de ganancia de los controladores, tienen que ser cambiados para una contestación dinámica óptima.

Por la misma naturaleza de tratamiento por lotes, es inevitable que los equipos del proceso tengan el tiempo ocioso entre los lotes. Durante el tiempo ocioso, las consideraciones del control restablecido deben ser consideradas. Hay también frecuentemente cambios en las recetas, en las calidades del producto, y en el propio proceso. Todas estas opciones de venta de acciones de las cosas aumentan las demandas en los lazos de control regulatorios en un proceso por lotes.

Los lazos de control regulatorio básicos son flujos, niveles, presiones, temperaturas, y composiciones. Sin embargo, los problemas se levantan a menudo midiendo parámetros del sistema que deben tenerse en cuenta al preparar una estrategia del control regulatorio. Las condiciones del proceso extremas, presión alta o la temperatura alta, pueden causar errores de medida en una medida de la composición.

Los retrasos de tiempo en la medida de temperatura en los sistemas del reactor por lotes son un problema frecuente. Aunque la mayoría de los sistemas tienen medidas directas continuas de temperatura, presión, y flujo, la composición es a menudo muy difícil de medir. El control debe tener que confiar en los análisis del laboratorio periódicos.

Las diferentes estrategias de control son a menudo necesarias para las mismas piezas del equipo. Esto podría involucrar diferentes cambios de controlador o cambios de algoritmo de control. La opción de que controlador o algoritmo de control hay que usar puede estar en los productos dependientes y puede especificarse en la receta.



Los reactores químicos por lotes ofrecen a algunos de los desafíos más difíciles controlar a ingenieros. Debido a la inherentemente naturaleza dinámica o tiempo-variante de un proceso por lotes, las variables del proceso pueden cambiar grandemente durante el curso de un ciclo por lotes. La condición no normal de funcionamiento sostener-estado existe porque pueden ponerse a punto los controladores para la buena contestación dinámica.

Probablemente el problema de control más desafiante presentado por los reactores por lote es la inestabilidad del lazo abierto causada por reacciones que produce el calor. Un aumento pequeño en la temperatura puede hacer que una reacción proceda más rápidamente y que genere más calor mientras más aumenta la temperatura. Las reacciones clandestinas pueden ocurrir si no se controlan las temperaturas propiamente.

Otros problemas de control incluyen a las variaciones de lote a lote en la reacción química causada por la actividad del catalizador o pureza del reactante, restableciendo el enrollado arriba en los controladores convencionales, y los grandes cambios de las ganancias en procesos de fabricación y constantes de tiempo.

La mayoría de los lazos de control puede manejarse con éxito con un solo lazo control de regeneración basado en el PID convencional (proporcional-integral-derivativo) algoritmo. Este lazo de control puede mantener seguimientos de punto firme y buena contestación a las perturbaciones y cambios de punto de muchas aplicaciones. [Ref. 4.5].

Como simplemente se discutió, los sistemas de control por lotes ofrecen las demandas adicionales en el sistema de control debido a la necesidad de estrategias de control alternativas, diferentes escenas de controladores que dependen del estado del proceso, etc.,

Esto significa a menudo que se requieren las estrategias de control más sofisticadas, como el control realimentado, el control en cascada, y el control atropellado. Pueden diseñarse los esquemas de control para descubrir cambios en las condiciones de los proceso de fabricación y neutralizarlos ajustando los controladores que ponen a punto las constantes, ajustando el rendimiento del controlador directamente, cambiando los diferentes algoritmos de control, y así sucesivamente.



4.2.2 Control Discreto

Por la misma naturaleza del proceso por lotes, muchos pasos diferentes del proceso se llevan a cabo en el lote en el mismo equipo del proceso. Esto requiere la manipulación de diferentes tipos de equipo que operan como válvulas, bombas, agitadores, y así sucesivamente.

Si este equipo es manipulado por un sistema de control automático, debe haber alguna manera para unirlo a él. Estos interruptores, relevadores, indicadores de luz, interruptores de límite, solenoides, etc., normalmente operan en 120 volts AC o 24 volts DC. Todos estos dispositivos son controlados por contactos eléctricos on / off simples. Muchos dispositivos de control discretos complejos son similares a los lazos de control analógicos: ellos pueden tener un punto fijo, un proceso inconstante, y una posición del rendimiento implícita. *[Ref. 4.6].*

4.2.3 Control Secuencial

Las estrategias de control por lotes involucran más que minimizar las desviaciones del punto fijo causadas por las perturbaciones del régimen estacionario. A menudo, se necesitan juegos alternados de acciones de control para responder a los eventos como el mayor ambiente perturbador, fracasos de equipo, o los cambios de cargas en procesos mayores. Se necesitan otras estrategias debido a los arranques frecuentes y cierres que ocurren.

Estrategias que involucran a las acciones de control cambiantes generalmente basadas en los eventos que entran en la clasificación de estrategias de control secuencial. Si una estrategia de control secuencial aplica al arranque simple y cierre de un motor o a un proceso por lotes sofisticado, la acción de control y estado del equipo del proceso cambia con el tiempo. Tiempo y evento secuencial, fijo o inconstante, es la consideración subyacente al diseñar una estrategia de control por lotes.



4.3 Terminología de los Sistemas de Control por Lotes

La discusión de los sistemas de control por lotes se ha estorbado a menudo por la falta de un idioma estándar. Si las reuniones involucran en discusiones a estos sistemas donde no hablen el mismo idioma, entonces la comunicación resultante sería difícil. Aquéllos que han intentado comunicarse usando a un traductor saben lo difícil que ese proceso puede ser. Los procesos por lotes y sus sistemas de control son campos donde las diferentes industrias y los vendedores han creado sus propios idiomas.

Los progresos en el control de procesos por lotes también se han estorbado por la falta de un modelo estructural estándar junto con la terminología normal, un idioma en que se puedan describir los problemas, formulo, comparo, discuto, y resuelvo. [Ref. 4.7]. No hay ningún diagrama equivalente a un cuadro usado en el control regulatorio en el área de lotes secuenciales.

El primer paso de este esfuerzo es el desarrollo de un modelo de control por lotes. Éste es un juego de actitudes comunes sobre los elementos diferentes; las tareas y las recetas de un lote están relacionadas, similares a la manera de nudos y bloques que están relacionados en el control Regulatorio. [Ref. 4.8].

En este modelo, hay una separación entre los elementos del sistema de control para que una descripción del control pueda escribirse para una variedad de productos diferentes, mientras se esta operando en una variedad de equipo del proceso, pero siguiendo los mismos ciclos genéricos de las operaciones.

Pueden declararse las cantidades requeridas para cada producto independientemente de los elementos procesales y las dependencias de equipo. El modelo también permite cualquiera o todos estos artículos a ser ligados dentro de los elementos procesales si esta flexibilidad no se necesita.



4.3.1 Equipo de Producción

La representación de cualquier sistema de procesamiento por lotes debe ajustarse al equipo. El modelo de la unidad mostrada en la figura 4.1 proporciona las estructuras del equipo a la producción y al control de niveles. [Ref. 4.11].

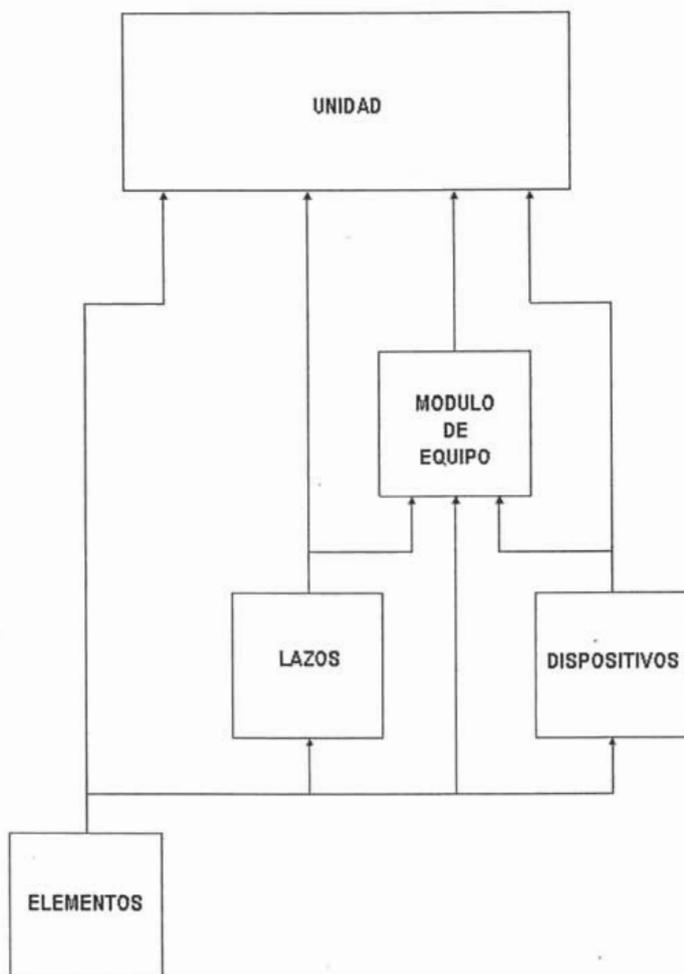


Figura 4.1 Modelo de la Unidad



- Elementos

Un elemento es una pieza del equipo de la planta que tiene una función activa como medir o manipular una variable física. Un ejemplo podría ser un sensor de temperatura que sólo mantiene una entrada a un sistema de control anotando los propósitos.

- Lazos

Un lazo es una combinación de dos o más elementos o funciones de control colocados para que las señales pasen de uno a otro con el propósito de medir y/o controlar un proceso variable. Un ejemplo podría ser un lazo que comprende un termopar, un transmisor y una válvula de control.

El mismo lazo podría tener el transmisor y el controlador configurados dentro del hardware/software digital e incluir entonces cualquier hardware de entrada y salida necesario. Los lazos variables simples usan un proceso de medida con comandos producidos para el particular elemento final de control con el que se une.

Los lazos multivariados complejos utilizan las señales de varios sensores con comandos computables que pueden manejar varios servomotores simultáneamente. También se encuentran los lazos en las aplicaciones por lotes. Por ejemplo, un lazo podría usarse para regular el flujo, la temperatura, o la presión en un vaso sobre la base de una rampa de punto fijo.



- Dispositivos

Un dispositivo es una combinación de elementos asociados con condiciones finitas de estados, una válvula de bloque automático completa con la válvula solenoide, servomotor neumático, e interruptores de límite. Un dispositivo puede asumir uno o más estados; por ejemplo, una válvula solenoide puede estar abierta o cerrada. Un dispositivo también puede proporcionar la regeneración indicando sus estados. Normalmente, la regeneración se proporciona por elementos como interruptores de límite que indican el estado de los dispositivos específicos en el campo.

Un dispositivo simple podría detectar el cierre de un solo contacto y podría operar un relevador para dar energía al motor asociado. Los dispositivos secuenciales o los dispositivos combinatorios complejos también son posibles, ya que utilizan las señales de múltiples sensores y producen comandos para varios servomotores en series o simultáneamente. Por ejemplo, algunos de los ejemplos más comunes de dispositivos encontrados en la mayoría de los procesos por lotes son los siguientes:

1. El arranque del motor sin la comprobación de la regeneración y un simple contacto de encendido / apagado para operarlo.
2. Las válvulas solenoides con un solo contacto de apertura / cierre avisan el rendimiento para operarlos.
3. El arranque del motor con separador, momentáneo contacto de encendido y apagado para operarlos.
4. Las válvulas solenoides con separador, momentáneo contacto de apertura / cierre avisan el rendimiento para operarlos.
5. El arranque del motor (como anteriormente) con una señal de realimentación o feedback que indica que el motor está corriendo.
6. Las válvulas con una o dos señales de realimentación o feedback de apertura / cierre para indicar la posición de la válvula.
7. Los agitadores de múltivelocidad con el contacto separado de la entrada para la selección de la velocidad.



- Módulos de Equipo

Un módulo de equipo es típicamente un grupo funcional de equipo centrado alrededor de una pieza mayor como un vaso, un intercambiador de calor, un filtro, etc., incluso los lazos, los dispositivos, y los elementos, para lograr una tarea en el funcionamiento de un proceso. Este grupo de lazos, de dispositivos, y de elementos pueden tratarse como un solo objeto de control integrado y pueden ponerse en uno de varios estados o valores. Un ejemplo podría ser un sistema de entrega de líquidos completos compuestos de un vaso encaquetado, una bomba y un control de la corriente de tráfico, y varias válvulas discretas (qué también pueden ser los dispositivos).

Los módulos de equipo son a menudo asociados con equipo que son compartidos por varias de otras piezas del equipo. Por ejemplo, un calentador de aceite caliente que se usa para proporcionar alta temperatura al fluido de transferencia de calor a cualquiera de los reactores que serían considerados probablemente como módulos de equipo. Un módulo de equipo puede o no puede contener ninguna de las materias primas que se usan para hacer un lote de producto realmente.

Una de las razones primarias para crear los Lazos, los dispositivos, y los módulos de equipo es el permitir acceso controlado del equipo asociado. Por ejemplo, un operador puede mantener el nivel en un vaso mirando el nivel y ajustando la válvula de alimentación manualmente. Este funcionamiento puede simplificarse poniendo en un controlador el nivel deseado del dial en punto fijo dónde el operador lo colocaba manualmente.

Cuando un operador quiere cerrar una válvula grande, un motor-generator, él puede supervisar la regeneración de las señales de apertura / cierre y manipular el interruptor manualmente hasta que él observe la señal verificando que la válvula se ha cerrado o una cantidad excesiva de tiempo ha pasado. Sin embargo, una computadora puede tomar esta decisión antes de que el operador pueda indicar simplemente "el cierre de la válvula".

Los lazos, los dispositivos, y los módulos de equipo integran varias funciones del instrumento al punto dónde la combinación realiza un proceso-orientado en lugar de una tarea de control del equipo-orientado. Los ejemplos son: (1) las estaciones del punto fijo en circuitos de reacción que les permiten a los operadores cambiar los blancos del proceso, y (2) los ajustes del parámetro en dispositivos que pueden permitir los cambios en los límites de la producción.



El lazo, el dispositivo, o el módulo de equipo se definen por una interfaz de nivel superior regularizado que convenientemente define el control humano y de computación. Por ejemplo, el punto fijo en una cara del plato es un punto conveniente de entrada de órdenes humanas y el control de supervisión de computación.

Estas capacidades de la interfaz son sumamente importantes cuando más complejos son los lazos y los dispositivos combinados, los lazos multivariados, las combinaciones de dispositivos secuenciales, y las mezclas complejas de lazos y dispositivos. Ellos permiten formular las acciones de supervisión por lo que se refiere a los objetivos del proceso simple.

- Unidad

Una unidad es una colección de elementos asociados, lazos, dispositivos, y/o módulos de equipo que realizan una función coordinada. Éste puede ser un grupo de piezas interrelacionadas con el proceso del equipo, como un vaso para contener el producto a procesar, una válvula para controlar el flujo o el vaso, equipos de calefacción o de enfriamiento, y, quizás, vasos de apoyo.

Esto incluye el equipo asociado de la planta con todos o parte del proceso particular. La unidad se conecta al sistema de control, a través de sus válvulas y otros servomotores, y sigue por el sistema de control a través de los varios tipos de sensores. Para el punto de vista del sistema de control los servomotores y los sensores constituyen la interfaz principal del proceso. La unidad es el objeto primario para el control automático del sistema por lotes. Las Unidades operan relativa e independientemente.

En un proceso de producto simple puede haber sólo una unidad. Pero una unidad también puede ser uno de varios grupos de equipo involucrado haciendo un producto particular. Los límites de una unidad también pueden cambiarse como las piezas del equipo, en la planta es posible encontrarse varias demandas de la producción.



4.3.2 Acciones del Proceso

Una representación de un sistema de procesos por lotes también requiere especificar las acciones a realizar en las materias primas para definir el producto final. Estas acciones tienden a ser jerárquicas; En la figura 4.2 se muestran los cinco niveles diferentes de actividad en el modelo del procedimiento. [Ref. 4.11].



Figura 4.2 Modelo de Procedimiento



- Procedimientos

En el nivel más alto está el procedimiento que es la parte de la receta que define la estrategia genérica para la producción por lotes de un producto. Los procedimientos definen y pueden realizar las acciones y los requisitos del control asociado necesario para hacer una clase general de productos en el proceso por lotes. Los procedimientos están en la cima de la jerarquía de acción del proceso porque ellos especifican cómo se clasifica el producto en el sistema por lotes.

- Operaciones

Dentro del procedimiento, la operación es una actividad independiente de la producción, consistiendo de fases, que se llevan a la realización en una sola unidad. La operación es la secuencia analógica del funcionamiento de la unidad en los procesos continuos. En un proceso continuo, cada unidad realiza una operación. En una unidad por lotes, tales operaciones pueden llevarse a cabo. Y en un sistema por lotes de múltiples unidades, cada unidad puede llevar a cabo una o más de las operaciones para hacer el producto.

Algunas operaciones básicas tienen una importancia fundamental en procesos de tecnología, sobre todo en la fabricación en lotes de materiales. Estas operaciones básicas son empleadas en idéntico o sólo ligeramente, modificando la forma en la fabricación de varios productos. En esta manera, las operaciones básicas son independientes del producto fabricado, como:

- Reaccionando
- Destilando
- Neutralizando

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



- Fases

Una fase es un proceso independiente orientado a la acción dentro de un funcionamiento. La fase se define por límites que constituyen puntos seguros o lógicos dónde el proceso puede interrumpirse. Por ejemplo, puede ser necesario permitir la intervención del operador para cambiar un ingrediente o dirigir el producto final a un vaso diferente. La sucesión que realizan las fases constituye la operación en lotes. En la práctica, se seleccionarán normalmente las fases como los grupos más pequeños de acción que pueden desacoplarse suficientemente del resto del funcionamiento para encontrarse el criterio para la intervención externa.

- Pasos de Control

Los pasos de control son las condiciones niveladas más bajas dentro de una fase que describe un evento o acción que son del operador. Este término nivelado más bajo involucrará una o más ordenes directas probablemente a los elementos de control finales. Los pasos de control normalmente serán especificados por las instrucciones de control en programas escritos en los idiomas nivelados altos.

- Instrucciones de Control

Las instrucciones de control son la expresión independiente más pequeña del control. Una instrucción de control es la expresión más básica de los idiomas del lote ejecutada durante el proceso de un paso de control.

El idioma a usarse determinaría que las instrucciones de control reales necesitarán lograr las acciones en estos equipos orientados. Los pasos de control que constituyen una fase serán definitivamente equipo o sitio específico. Además, estos pasos de control sólo se alteran infrecuentemente, normalmente en las modificaciones de pizca de conjunción al equipo de producción.



4.4 Características de los Procesos por Lotes

- Están usándose los procesos por lotes para producir muchos productos que se producían originalmente por los procesos continuos. Una razón para esto es que los procesos continuos han sido típicamente operados con mano de obra intensiva, especializada y experimentada por lo que ha sido necesario producir los productos con una mejor calidad. Aunque la tecnología ha estado disponible durante muchos años, el control automático de procesos continuos con una fuerza de trabajo pequeña, no ha sido la ideal para los procesos por lotes. Afortunadamente, esta condición es ahora cambiante.
- Los sistemas de control distribuidos y los controladores programables han estado disponibles durante años, pero ellos han estado principalmente envueltos en el control de procesos continuos y las partes discretas en las plantas industriales. Eso es porque eran estas plantas las que producían el volumen más grande de productos, y allí es donde el dinero de desarrollo era gastado. Ahora una cantidad considerable de dinero de desarrollo está siendo gastada en hardware y software de control de procesos por lotes.
- Están introduciéndose los sistemas de control ahora con estructuras que le permiten al usuario definir su sistema de control por lotes que utiliza la terminología presentada en el capítulo 4.3. Este cambio en el énfasis de los procesos continuos a los procesos por lotes refleja el movimiento hacia la especialidad flexible de los procesos industriales.

4.4.1 Clasificación de los Procesos por Lotes

Los procesos por lotes pueden ser clasificados por el número de productos que se realizan y por la fácil estructura de su proceso. [Ref. 4.9 y 4.10]. El número de productos es típicamente el número individual identificable de sustancias químicas, o artículos producidos. Un proceso por lotes puede ser de un solo producto, o de varios productos. Un proceso por lotes de un solo producto produce el mismo producto en cada lote, los funcionamientos que se realizan y las cantidades de materia prima son las mismas en cada lote. El proceso por lotes de varios productos produce varios productos utilizando métodos diferentes de producción o control, los funcionamientos que se realizan, las cantidades de materias primas utilizadas, y las condiciones del proceso y las fórmulas pueden variar con cada lote.



4.5 Importancia de las Normas en los Sistemas de Control por Lotes

La importancia de las normas en los sistemas de control por lotes se ha hecho más clara con el énfasis de aumentar la calidad y combinarla con las presiones para automatizar y hacerse competitivos. Dos razones buenas para aplicar las normas en la industria del proceso por lotes son reducir el costo usuario y promover la facilidad de su uso.

El sueño de muchos gerentes de la planta de tener una planta que sea completamente automatizada, desde la entrada de la orden a la entrega del producto al cliente, se comprende más fácilmente en una planta de proceso continuo que en una planta de proceso por lotes. En una planta de proceso continuo, generalmente uno o dos productos, o calidades de producto, tienen que ser fabricados, reuniendo los requisitos de los clientes que pueden ser más simples cambiando el caudal de la planta para emparejar demandas de los clientes o haciendo los ajustes a los parámetros del proceso específicos para cambiar las calidades del producto.

Los puntos considerados más complejos en una planta de proceso por lotes [Ref. 4.6] son:

1. Generalmente, mucho más productos, y calidades de productos, están siendo manufacturados en la planta por lotes, muchos de ellos han sido la razón por la que un proceso por lotes era escogido en primer lugar por encima de un proceso continuo. Hay recursos comunes que son compartidos ciertamente por las diferentes unidades dentro de la planta por lotes.
2. Muchas de "las recetas", en un proceso continuo realmente se construye en el conducto. Los materiales fluyen de una pieza del equipo al próximo; las administraciones unificadas específicas tienen lugar en cada pieza del equipo. Normalmente las únicas variables que pueden variarse son ciertos parámetros del proceso y la alimentación del mismo.
3. El proceso por lotes, sin embargo, se hace en las fases discretas; las instrucciones de qué hacer son luego determinadas por cómo una cantidad de material se procesa en el sistema (procedimiento). El proceso de variables, las temperaturas, las presiones, el flujo, etc., y las cantidades de carga también puede ser cambiada por las instrucciones (fórmulas). Se llaman las combinaciones de procedimiento y fórmula, junto con otra información sobre la identidad del lote y requisitos de equipo, las recetas.



4.5.1 Control de Procesos por Lotes con la ayuda de la Norma ANSI/ISA S88

- Orígenes de la Norma ANSI/ISA S88

A finales de 1980, ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society) inició el Comité SP88, para establecer la Norma ANSI/ISA S88 en el control de procesos por lotes (Batch). Uno de los más importantes términos asociados con esta norma fue la Automatización Modular Batch (Modular Batch Automation – MBA). Usando esta programación es posible elaborar una secuencia por medio de pequeños módulos, en vez de los programas largos, rígidos y monolíticos anteriormente usados.

La Norma ANSI/ISA S88 ayuda al Control de Procesos por Lotes, probando ser un método lo suficientemente maduro, estructurado, de clase mundial y con beneficios muy importantes en la elaboración de los productos, reducción de tiempos, calidad, administración de recursos, reducción de ciclos de producción y validación entre otros.

- Modelos y Terminología de la Norma ANSI/ISA S88

La Norma ANSI/ISA S88 provee los modelos y la terminología para definir los requerimientos para las plantas de manufactura con procedimientos para procesos por lotes o tipo Batch.

Los Modelos y Terminología en esta Norma son:

- Enfatizan las Buenas Practicas para el diseño, Operación y Procedimientos de la Manufactura
- Pueden Mejorar de manera Significativa el Control de las Plantas y
- Puede aplicarse independiente del grado de Automatización

Específicamente, esta norma provee una terminología y los conceptos consistentes para:

- Lograr hacer operar nuestro equipo de la manera mas eficiente
- Desarrollar nuevos productos en menor tiempo
- Identificar las necesidades de mejor manera
- Desarrollar directamente nuevos procedimientos sin requerir Ingenieros de Control.
- Reducir el ciclo de vida de proyectos y su repetibilidad

La Norma ANSI/ISA S88 no pretende:

- Sugerir que solo hay una manera de implementar o aplicar un control
- Forzar a los usuarios a abandonar sus métodos actuales
- Restringir el desarrollo en el área de control



La Norma ANSI/ISA S88 define una estructura independiente al sistema de control (DCS, PLC, SCADA ó HMI), es independiente al proveedor o marca del equipo, y puede aplicarse a operaciones automáticas, semiautomáticas y/o manuales. En esta norma se separa el proceso en dos modelos: de equipo y de procedimientos. Así, se provee una forma más eficiente y clara para desarrollar y modificar un proceso por lotes automatizado. [Ref. 4.13].

Además, en una etapa posterior, se pueden reutilizar los módulos y procedimientos que ya se han desarrollado. El modelo físico incluye los siguientes elementos: empresa, sitio, área, proceso, unidad, módulo de equipo y módulo de control. El modelo de procedimiento contiene la estrategia o pasos a seguir para realizar el lote de producción. A cada nivel del modelo físico corresponde una acción del modelo de procedimiento, como se muestra en la siguiente figura.

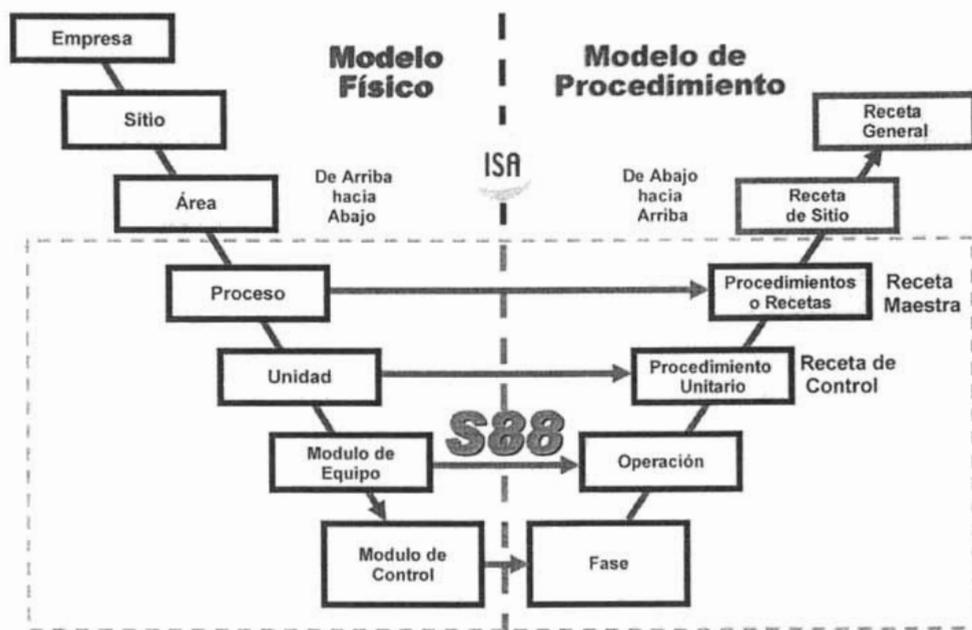


Figura 4.3 Modelo ANSI/ISA S88



- Definición del Modelo Físico

El modelo físico se usa para describir los activos físicos de una empresa, y generalmente están organizados de manera jerárquica. El modelo físico es simplemente la **jerarquía u orden progresivo** en que cada componente se integra. Cada nivel agrupa o contiene al menos uno o varios de los componentes del nivel inmediatamente inferior. La Norma ANSI/ISA S88 define los siguientes siete niveles:

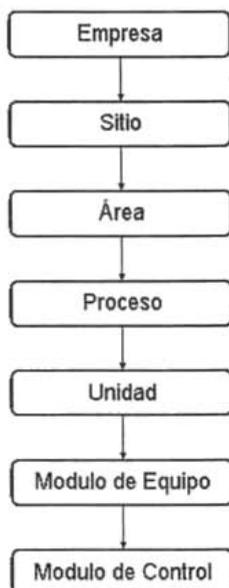


Figura 4.4 Los Siete Niveles del Modelo Físico

- **Empresa:** Una empresa es una colección de uno o más sitios. La empresa es la responsable de determinar cuáles productos se van a fabricar, en cuales sitios se fabricarán y, en general, como se fabricarán.
- **Sitio:** Un sitio es una agrupación física, geográfica o lógica determinada por la empresa. Los límites de un sitio generalmente están basados en criterios organizativos o de negocios en oposición a criterios técnicos, lo que quiere decir que hay muchos factores distintos al control por lotes que afectarán los límites.



- **Área:** Un área es una agrupación determinada por el sitio. Como en el sitio, los límites del área pueden estar determinados por factores distintos al control por lotes.

- **Proceso:** El proceso es el primer nivel del modelo físico que tiene que ver con el equipo real de fabricación. Un proceso es una agrupación lógica de todo el equipo requerido para la producción de uno o más lotes. Los límites del proceso:
 - Definen la envergadura del control lógico del equipo de proceso dentro del proceso.
 - Permite la planificación de la producción con base al proceso.
 - Provee un mecanismo para definir y diseñar estrategias de control a todo lo ancho del proceso.

- **Unidad:** Una unidad es una agrupación de equipos que pueden realizar uno o más actividades mayores de procesamiento. El equipo que conforma una cantidad puede estar configurado como parte permanente de la unidad o puede ser adquirido temporalmente para realizar tareas específicas. Una unidad:
 - Opera relativamente independiente de otras unidades.
 - Puede operar con un lote completo de materiales a la vez.
 - Puede operar con sólo una parte del material del lote en la secuencia del proceso.
 - Opera solamente sobre un lote a la vez.

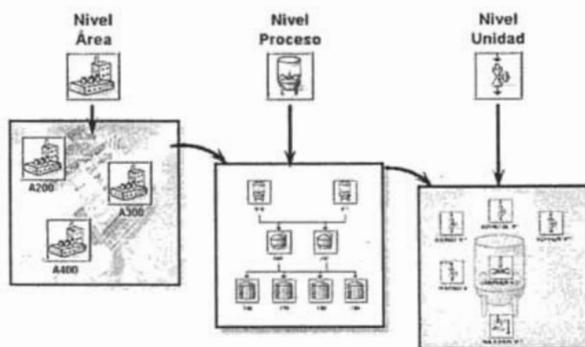


Figura 4.5 Modelo Físico



- **Módulos de Equipos:** Un módulo de equipos es una colección de equipos que pueden realizar un número finito de actividades de procesamiento específicas menores. Un módulo de equipos puede formar parte de una unidad o ser una agrupación de equipos independientes dentro del proceso. Si el módulo de equipos es independiente, puede ser un recurso de uso exclusivo o de uso compartido.
- **Módulo de Control:** Un módulo de control es la agrupación más baja que está dedicada a establecer y mantener un estado específico de control de equipos o de proceso. Típicamente es una colección de sensores, actuadores, otros módulos de control y equipos de procesamiento asociado que, desde el punto de vista de control es operado como una entidad simple. Los módulos de control pueden estar conformados por otros módulos de control. Los módulos de control generalmente están formados por entradas y salidas reales, modos, comandos y alarmas, que cuando están agrupadas en conjunto, definen los atributos de control (datos y métodos) de un solo aparato (válvula, bomba, motor, etc.).

- Definición del Modelo de Procedimientos

El procedimiento dirige las acciones en función del equipo para que ocurran en una secuencia ordenada con el fin de llevar a cabo una tarea orientada hacia el proceso. El procedimiento contiene elementos que son combinados de una manera jerárquica para lograr completar una tarea. El procedimiento es la parte de la receta que contiene las estrategias o pasos a seguir para realizar un lote de producción. A cada nivel del modelo físico corresponde una acción del modelo de procedimientos como lo define la Norma ANSI/ISA S88. [Ref.4.11]. A continuación se muestran los cuatro niveles del modelo de procedimientos:



Figura 4.6 Los Cuatro Niveles del Modelo de Procedimientos

- **Procedimiento o Receta:** El procedimiento o la receta es el nivel más alto en la jerarquía y define la estrategia para la realización de una acción de procedimiento importante tal como la preparación de un lote. Un procedimiento consiste de conjuntos ordenados de procedimientos unitarios.
- **Procedimientos Unitarios:** Un procedimiento unitario es el conjunto de operaciones que ocasionan que ocurra una secuencia de producción contigua dentro de una unidad. Un procedimiento unitario consiste de un conjunto ordenado de operaciones.
- **Operaciones:** Una operación define una secuencia mayor de procedimientos que lleva el material que se está procesando de un estado a otro, generalmente involucrando un cambio químico o físico. Una operación consiste de conjuntos ordenados de fases.
- **Fase:** El elemento más pequeño del control de procedimientos que puede lograr una tarea orientada hacia el proceso es la fase. Las fases son bloques fundamentales de las cuales están compuestas las operaciones.

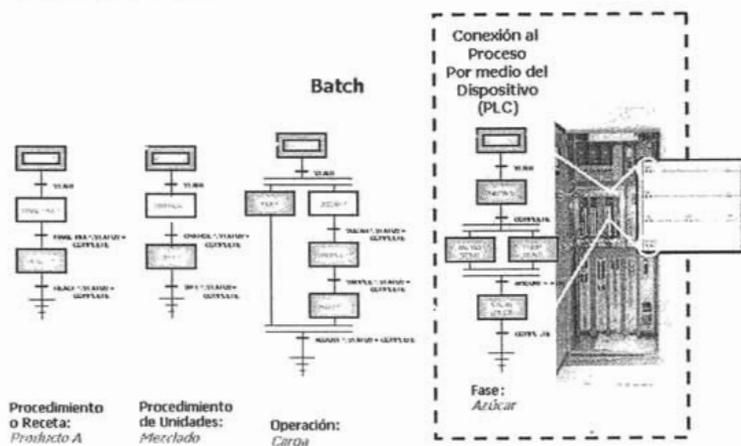


Figura 4.7 Modelo de Procedimientos

La combinación del modelo físico y de procedimientos permite evaluar puntualmente qué variables requieren el registro de los datos del proceso, a cualquier nivel de infraestructura de planta y área de producción. Si se requiere, esta metodología permite el suficiente detalle (desde valores de proceso y de equipo, hasta cómo se maneja una válvula, un agitador, etc.); además de ubicar estos datos por receta, procedimiento unitario, operación y/o fase. [Ref. 4.12].



CAPÍTULO V

APLICACIÓN DE LA NORMA ANSI/ISA S88 EN LA INDUSTRIA

CAPÍTULO V APLICACIÓN DE LA NORMA ANSI/ISA S88 EN LA INDUSTRIA

El siguiente proyecto es empleado en la industria cervecera, y muestra un desarrollo de sistemas de control de procesos por lotes, cuyo modelo se basa en la Norma ANSI/ISA S88. En donde el sistema garantiza el control de actividades relacionadas con el proceso por lotes, logra asegurar la dirección flexible de recetas y de equipos, así como logra mejorar sustancialmente la dirección de las unidades de la producción.

5.1 Descripción del Proceso

Este proyecto usa como ejemplo un proceso de preparación de malta –Figura 5.1. Sin analizar el proceso en detalle, será suficiente decir que la mezcla (malta) se usa en la fabricación de cerveza, y principalmente requerirá de algunos módulos de control, como son: un tanque de preparación, un sistema de adición de componente, un sistema de adición de agua, un control de agitador, un sistema de recirculación de vapor, un sistema de control de descanso, un sistema de descarga y un sistema de limpieza (CIP). [Ref. 5.1].

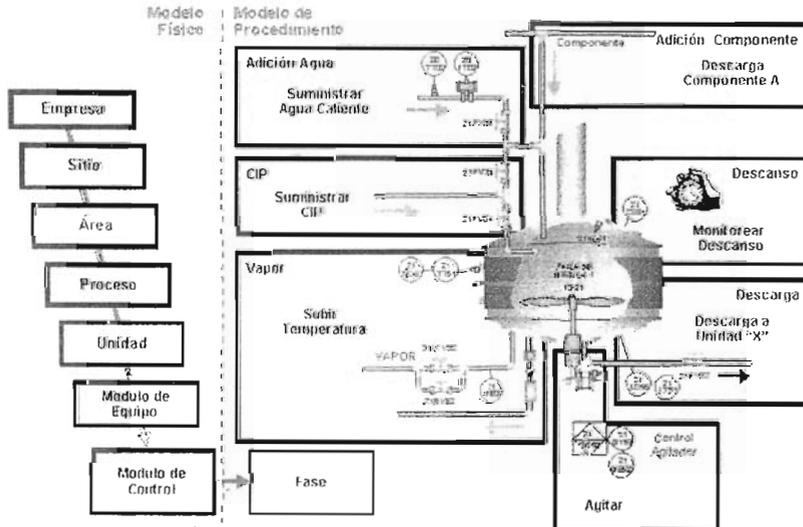


Figura 5.1 Proceso de Preparación de Malta



La figura anterior muestra el proceso de preparación de malta, en donde el tanque de preparación es apto con un sistema de control de temperatura de solución, un agitador, y un sistema cargante para líquidos. Una vez que el componente A se descarga, se suministra agua caliente dentro del tanque de preparación y propiamente se calientan por medio de un sistema de recirculación de vapor. Aquí, la solución es mezclada mediante un agitador. Después de un tiempo predeterminado, el resultando de la mezcla se descarga a unidad "X", donde se lleva hacia la próxima fase del proceso. Después de la descarga, se lleva a cabo la limpieza en sitio (CIP) de la mezcla.

5.2 Estudio e Identificación de las Fases del Proceso

El estudio e identificación de las fases del proceso son esenciales para la automatización exitosa de la planta. El ingeniero de proceso y el ingeniero de automatización deben ser involucrados en esta actividad (es una fase del proyecto basada en el modelo de la Norma ANSI/ISA S88) y es considerado beneficioso para ellos por colaborar en el mejoramiento del funcionamiento del proyecto.

El primer paso comprende la identificación de la fase individual, que integra el proceso, y analiza cada fase individualmente. En el ejemplo anterior, para el proceso de preparación de malta, el proceso puede subdividirse entre un numero de acciones relacionadas (La acción es la parte del proceso relacionado con la fase, *-Estado del Proceso-*).

1. Descarga Componente A
2. Suministrar Agua Caliente
3. Agitar
4. Subir Temperatura
5. Monitorear Descanso
6. Descarga a Unidad "X"
7. Suministrar CIP



○ Descarga Componente A

La fase de descarga componente “A”, adiciona el componente a la mezcla. La fase primero verifica el equipo de adición de componente, y le dará un mensaje al operador si no está en el modo correcto. Si todo el equipo está en el modo correcto, comenzará la adición del componente “A”, enjuagando primero la línea con agua, al terminar el enjuague, comenzará la adición de componente “A”, y continuará hasta que la cantidad prefijada del componente haya sido dosificada a la mezcla. Al terminar la adición de componente “A”, la línea será enjuagada nuevamente con agua y al terminar este enjuague, termina la fase.

Si se da la acción de espera, paro o abortar y la adición de alguna cantidad del componente “A”, se ha llevado a cabo, la línea se enjuagará con agua antes de que la fase pueda continuar al estado de terminación.

○ Suministrar Agua Caliente

La fase de suministrar agua caliente, como su nombre lo indica, añade agua caliente a la mezcla. La fase primero verifica el equipo de adición de agua, dándole un mensaje al operador si no está en el modo correcto. Si todo el equipo está en el modo correcto, comenzará la adición de agua caliente al tanque de preparación con el flujo y la cantidad prefijada. Cuando la cantidad total de agua caliente dosificada a la mezcla alcanza la cantidad prefijada, la fase termina. La cantidad total de agua caliente dosificada únicamente se reiniciará al entrar inicialmente en la fase.

La temperatura del agua que se añade a la mezcla será controlada con base en la temperatura del tanque o de la línea, como se especifica en el parámetro de la formulación. Si la temperatura real no está dentro de la tolerancia por un tiempo mayor al tiempo de fallo de tolerancia, la fase detectará un fallo.



○ Agitar

La fase de agitar le ordena al agitador que opere a una velocidad prefijada. La fase primero verifica el equipo de agitación, y le dará un mensaje al operador si no está en el modo correcto. Si todo el equipo está en el modo correcto, el agitador comenzará a operar. Si hay dos agitadores, una sola fase controla ambos agitadores. Si el tiempo prefijado es igual a cero, esta fase termina basada en las acciones de la terminación de otra fase. Si el tiempo prefijado es mayor de cero, el agitador operará durante la cantidad de tiempo prefijada. Cuando el tiempo de operación del agitador alcanza el tiempo prefijado, la fase termina. El tiempo de operación únicamente podrá reiniciarse al entrar inicialmente en la fase

El agitador continuará funcionando mientras se mantenga el estado “*En Espera*”. El temporizador de operación del agitador podría detenerse mientras se está “*En Espera*”, si esto ocurre la fase pasará inmediatamente a “*Terminado*” cuando se reinicie la fase.

○ Subir Temperatura

La fase de subir temperatura, eleva la temperatura de la mezcla. La fase primero verifica el equipo de calentamiento, y le dará un mensaje al operador si no está en el modo correcto. Si todo el equipo está en el modo correcto, comenzará el calentamiento de la mezcla a la tasa de elevación prefijada.

La fase de subir temperatura, tiene dos modos de operación: 0 (mantener); y 1 (alcanzar). Cuando se selecciona el modo de mantener, la mezcla se calentará a la temperatura prefijada y se mantendrá en esa temperatura. En este modo, la fase termina basada en las acciones de terminación de otra fase. El modo alcanzar calentará la mezcla a la temperatura prefijada, y cuando llegue a esa temperatura la fase terminará.

Una indicación de que se llegó a la temperatura prefijada se reportará inmediatamente en el registro del lote cuando la temperatura real alcanza la temperatura prefijada y solamente es usada por el informe de lote de producción. En el estado “*En Espera*” el calentamiento se desconectará. No se mantendrá la temperatura de la mezcla en el estado “*En Espera*”.



○ Monitorear Descanso

La fase de monitorear descanso se usa para hacer una pausa en la ejecución de una formulación en un paso dado por un tiempo determinado y para registrar la temperatura máxima alcanzada durante este tiempo. Si el tiempo prefijado es igual a cero esta fase termina con base en las acciones de la terminación de otra fase. Si el tiempo prefijado es mayor de cero, el temporizador funcionará durante el tiempo prefijado. Cuando el temporizador llega al tiempo prefijado, la fase termina.

El tiempo de operación y la temperatura alcanzada sólo se reiniciarán al entrar inicialmente en la fase. La fase de monitorear descanso no interactúa con ningún otro equipo. El temporizador continúa funcionando mientras está en el estado *“En Espera”*. El temporizador podría llegar a su fin mientras la fase está *“En Espera”*, si esto ocurre la fase pasará inmediatamente a *“Terminado”* cuando se reinicia la fase.

○ Descargar a Unidad “X”

La fase de descarga a unidad “X”, es utilizada para transferir el componente de la mezcla a la unidad “X”. Esta fase primero revisa todo el equipo de transferencia de mezcla y avisará al operador si no está en el modo correcto. Si todo el equipo está en el modo correcto, comenzará la transferencia. La fase de descarga a unidad “X”, siempre tendrá una fase de transferencia de mezcla correspondiente en la formulación. La fase de transferencia de mezcla es utilizada para sincronizar las acciones de la mezcla en la misma formulación.

La fase de transferencia de mezcla, envía una solicitud de “transferir material” a la fase de descarga a unidad “X”. La fase de descarga a unidad “X”, entonces comienza a transferir los contenidos del tanque. Cuando se confirma que el tanque de preparación está vacío, se enjuaga. Cuando el enjuague concluye, la fase de descarga a unidad “X”, envía el mensaje de “transferencia completada” a la fase de transferencia de mezcla, y se completan las dos fases.



La Fase de descarga a unidad “X” captará el tiempo transcurrido desde el comienzo de la fase hasta el momento en que se recibe el mensaje de “transferir material”. El tiempo transcurrido será utilizado exclusivamente por la fase de transferencia de mezcla. Esta fase también captará la cantidad total de material (incluye el agua de enjuague) bombeado a la mezcla.

Si se da la acción de espera, paro o abortar el mensaje de solicitud debe ser cancelado antes de que la fase pueda continuar al estado de “**Terminación**”. Si se reinicia, se entra en el estado de operación al enviar la solicitud de mensaje “transferir material” para resincronizar las fases.

- Suministrar CIP

La fase de suministrar CIP se usa para hacer la limpieza en sitio (CIP por sus siglas en inglés—Cleaning in Place) de la mezcla y se usa solamente en la formulación del CIP. La fase primero verifica todo el equipo de transferencia de la mezcla y le dará un mensaje al operador si no está en el modo correcto. Si todo el equipo está en el modo correcto, comenzará la transferencia de la solución de CIP.

La fase suministrar CIP siempre tendrá una fase de transferencia de la unidad CIP en la formulación. La fase de transferencia de la unidad CIP se usa para sincronizar las acciones de la mezcla y la unidad CIP en la misma formulación. La unidad CIP envía un mensaje de “transferir material” a la fase de transferencia de la unidad CIP. La unidad CIP entonces comenzará la transferencia de material. Cuando se termina la transferencia de material, la fase de transferencia de la unidad CIP envía el mensaje “transferencia completada” a la fase de suministrar CIP y ambas fases terminan.

Si se da la acción de espera, paro o abortar el mensaje de solicitud debe ser cancelado antes de que la fase pueda continuar al estado de “**Terminación**”. Si se reinicia, se entra en el estado de operación al enviar la solicitud de mensaje “Transferir material” para resincronizar las fases. La fase de suministrar CIP tiene tres modos de operación: 0 (llenado); 1 (circular); y 2 (vaciar). Se deben abrir o cerrar las válvulas correspondientes de la mezcla para permitir el flujo adecuado de la solución CIP basado en el modo seleccionado.



5.3 Análisis del Proceso mediante el Modelo de la Norma ANSI/ISA S88

Antes de estudiar el proceso, es necesario analizar primero, las recetas de la producción y la interacción del equipo, mientras se toma en cuenta el modelo físico (sitio/planta/equipo) y el modelo de procedimientos (proceso), ya que ambos son parte del modelo de la Norma ANSI/ISA S88. Este análisis producirá la definición de la parte más crítica del sistema entero: El área o la configuración básica del sistema, describe el equipo necesario para realizar el proceso por medio de las recetas y su respectivo procedimiento. *[Ref. 5.2].*

Para preparar una solución, cada una de las siete acciones anteriores es requerida. Cada una de estas acciones pueden dividirse entre un número mayor de operaciones y cada operación puede, así mismo, comprender un número finito de acciones. Dentro del área, cada dirección del proceso y la fase de aplicación se identifican a lo largo del equipo necesario para realizar el proceso en el sitio. Esto define los siguientes pasos:

- Para definir el proceso o la unidad que se llevarán a cabo, se define su respectiva acción, mediante el uso de *“Recetas o Procedimientos Unitarios”*.
- Para definir el módulo de equipo necesario para ejecutar el proceso se requiere conocer su *“Operación”*.
- Para definir el módulo de control, el cual permite conocer las prescripciones de la producción que serán emitidas, es indispensable el uso de sus *“Fases”*.

Tomando en cuenta el ejemplo del proceso de elaboración de malta, se puede entender un poco mejor el análisis del proceso, en donde se describen el modelo físico y el modelo de procedimientos, mediante el enfoque de operación. *[Ref. 5.1].*



En la Figura 5.2, se analiza la operación “cargar material”, en la cual entran en función las fases correspondientes a los módulos de control de adición de agua, de adición de componente “A” y de agitar. El sistema físico para estos módulos de equipos, esta compuesto mediante dos válvulas (una para la fase de suministrar agua caliente y otra para la fase de descargar componente “A”), dos bombas de dosificación y un agitador.

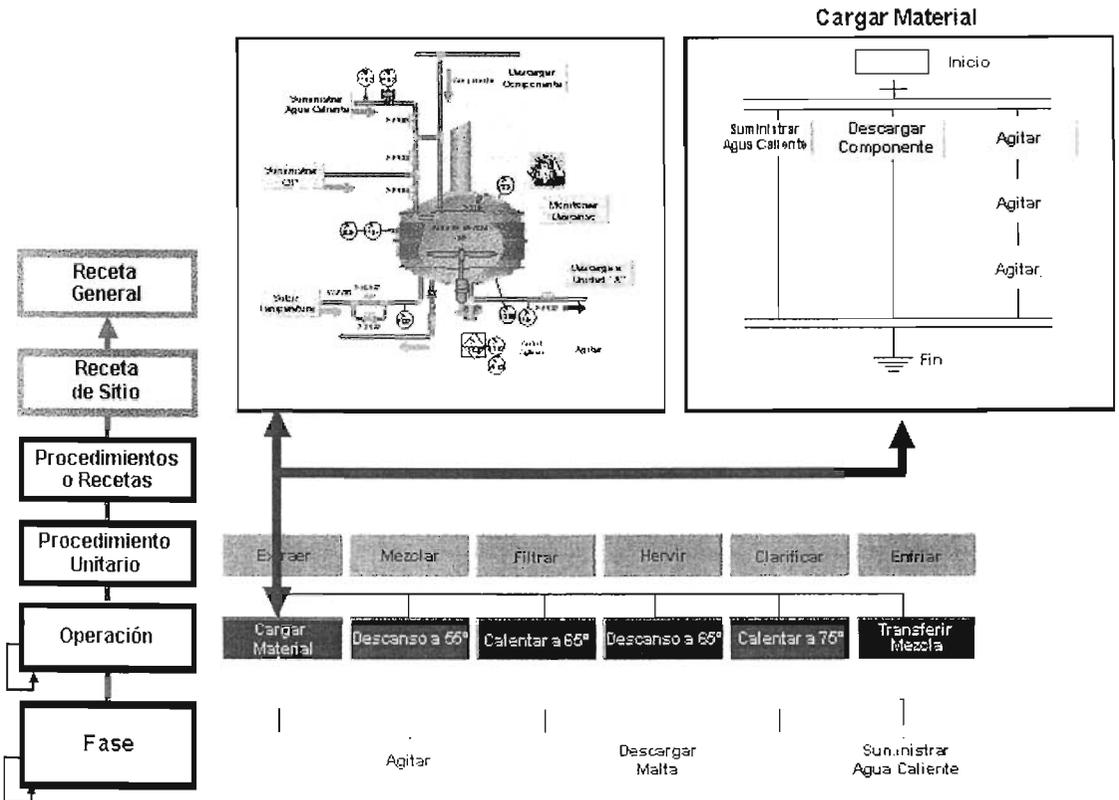


Figura 5.2 Operación “Cargar Material”



En la Figura 5.5, se analiza la operación "descanso a 65° C", en la cual entran en función las fases correspondientes a los módulos de control de agitar y de monitorear descanso. El sistema físico para estos módulos de equipos, esta compuesto mediante un agitador y un timer.

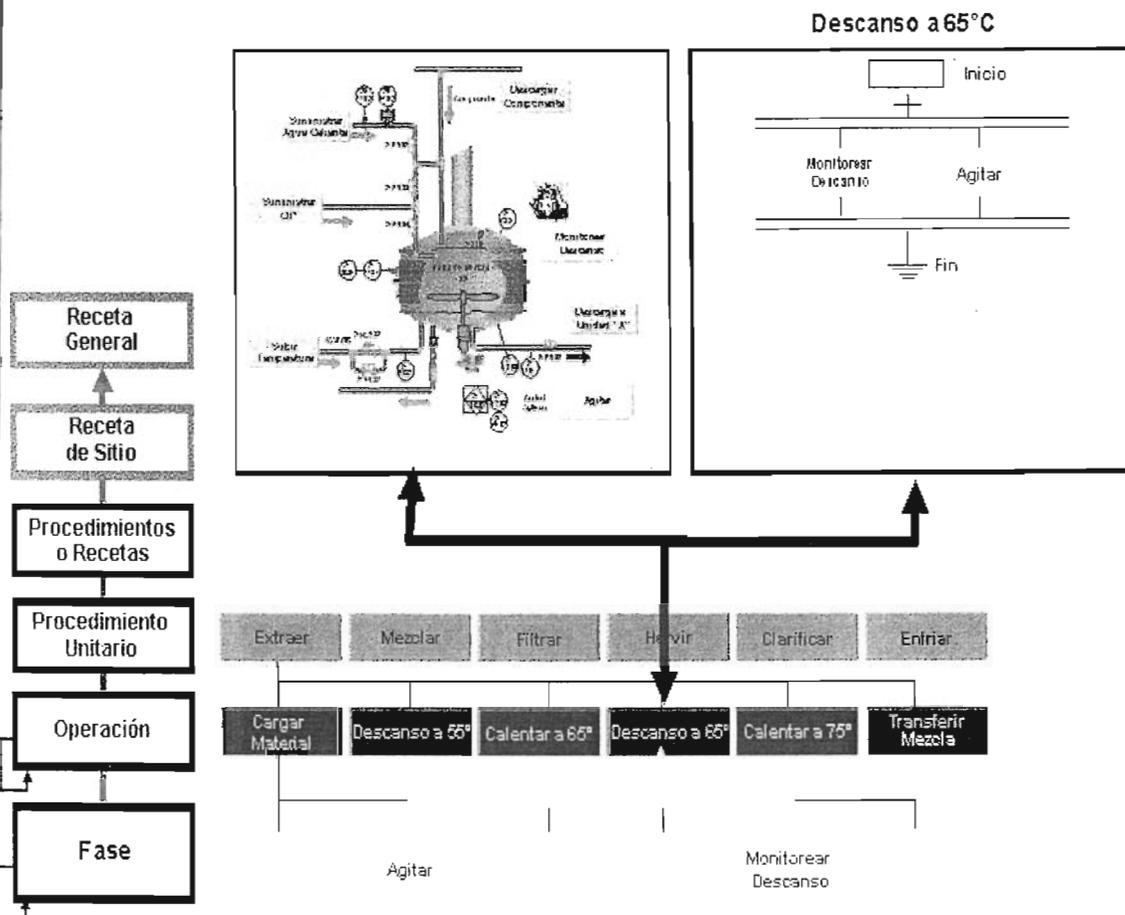


Figura 5.5 Operación "Descanso a 65° C"



En la Figura 5.6, se analiza la operación "calentar a 75° C", en la cual entran en función las fases correspondientes a los módulos de control de subir temperatura y de agitar. El sistema físico para estos módulos de equipos, esta compuesto mediante una bomba, varias válvulas, un intercambiador de calor y un agitador.

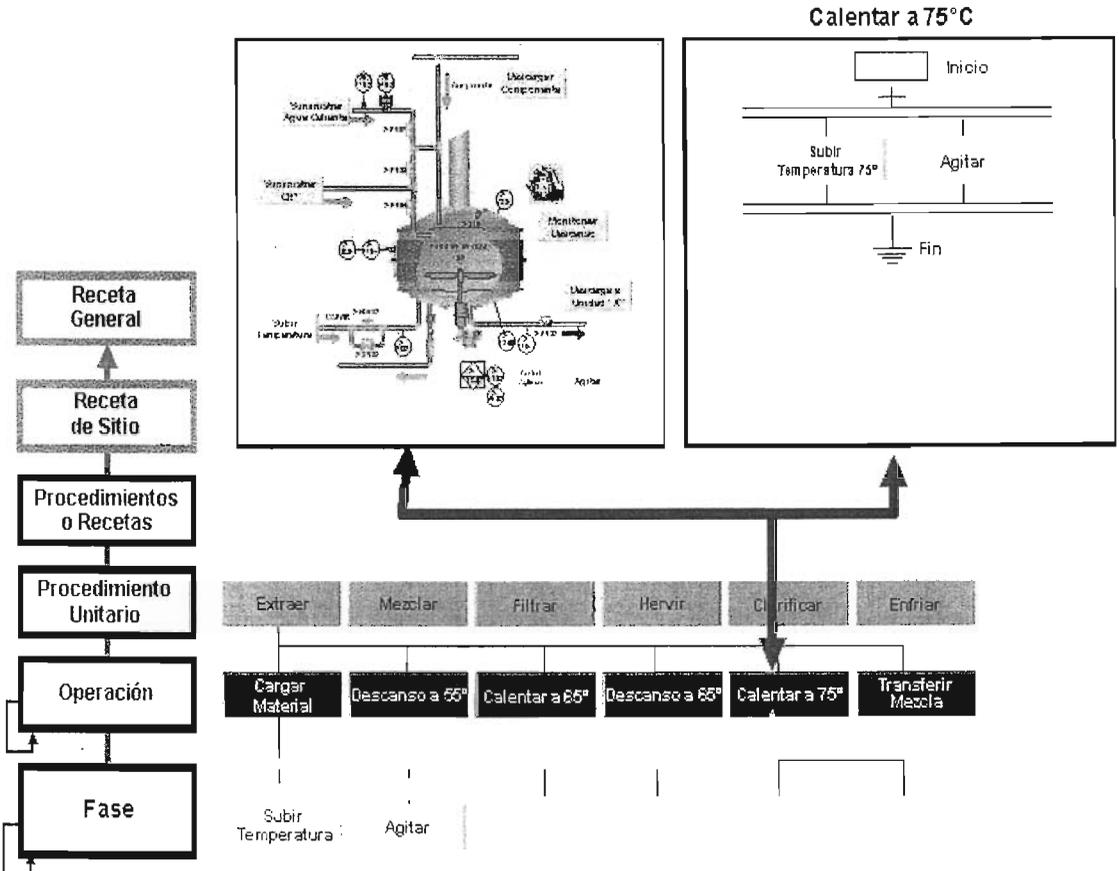


Figura 5.6 Operación "Calentar a 75° C"



En la Figura 5.7, se analiza la operación "transferir mezcla", en la cual entran en función las fases correspondientes a los módulos de control de adición de agua, de agitar y de descargar a unidad "X". El sistema físico para estos módulos de equipos, esta compuesto mediante dos válvulas (una para la fase de suministrar agua caliente y otra para la fase de descargar a unidad "X"), dos bombas de dosificación y un agitador.

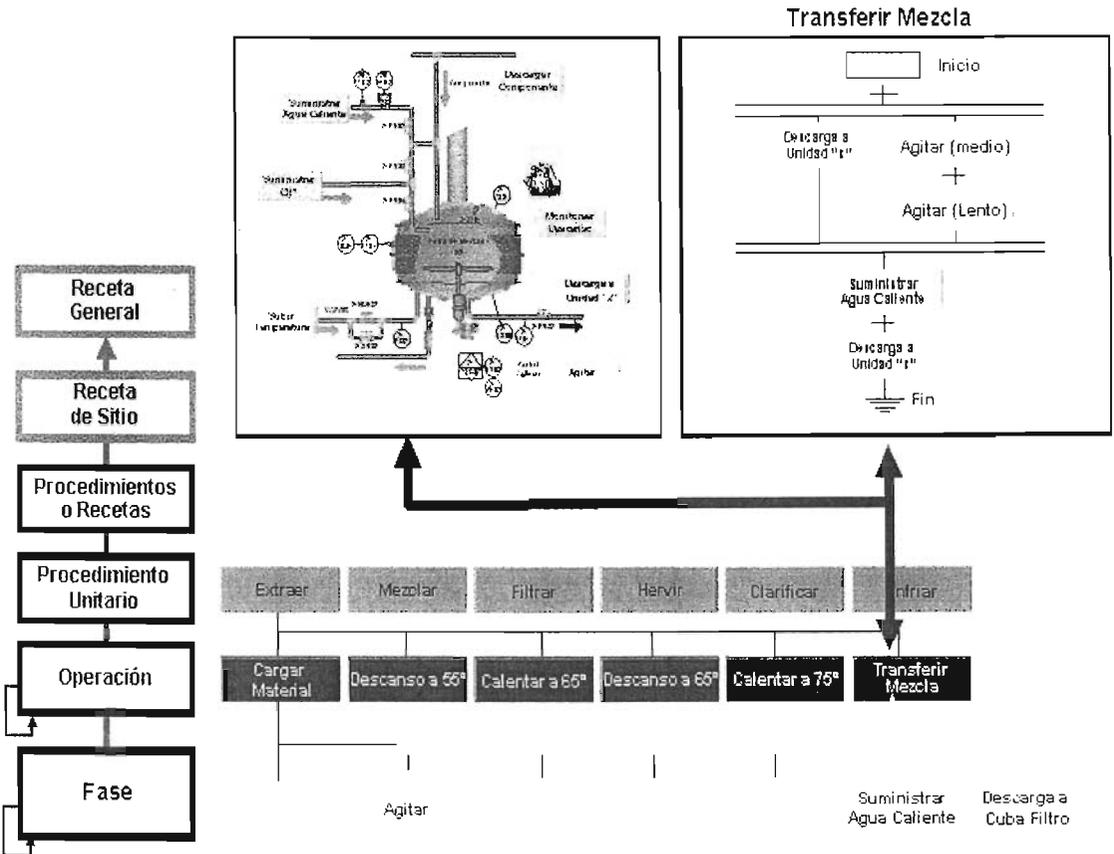


Figura 5.7 Operación "Transferir Mezcla"



El próximo paso en el procedimiento es traducir el modelo físico en un sistema de automatización apropiado. Hay dos tipos de acercamientos, basados en la misma teoría:

1. Acercamiento del “Módulo de Equipo”.
2. Acercamiento del “Módulo de Control”.

○ Acercamiento del “Módulo de Equipo”

El acercamiento del “Módulo de Equipo” requiere de la creación de una estructura codificada dentro del sistema de control, que habilita el funcionamiento de la parte pertinente del modelo físico. [Ref. 5.3]. Tomando como ejemplo, la adición de agua, en donde la válvulas y la bombas dosificadora son los componentes de un solo “Módulo de Equipo”, dentro del sistema de control, una sola estructura del código tiene los parámetros y comandos de operación, esto se resumen en el dibujo esquemático mostrado en la siguiente figura.

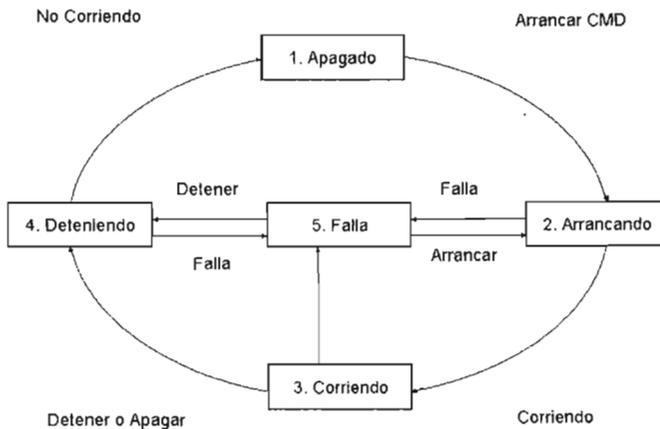


Figura 5.8 Módulo de Equipo



El módulo de equipo comienza de un estado apagado, y si cada condición que lo habilita se ha llevado a cabo arranca, el módulo entra en el estado de corrimiento, después de recibir un comando de arranque. El módulo se detendrá si este recibe una señal de alarma o el comando de paro o de apagar.

- Acercamiento del “Módulo de Control”

Usando el dibujo esquemático de la figura 5.8, y el ejemplo donde el punto de la fase de suministrar agua caliente comienza, la unidad de control se comportará como sigue:

Si las condiciones de arranque se reúnen (el módulo en el estado apagado, la válvula en sitio y la bomba en reposo) el comando de arranque (dado por un supervisor o por la prescripción del sistema de control, dependiendo si el sistema está en modo semiautomático o automático) entrará el módulo en un estado de arranque.

En este estado, el agua caliente se envía por la válvula que recibe la orden del posicionamiento (manejando un parámetro que podría ser el resultado de la prescripción) y la bomba dosificadora recibe la orden de arranque. Si la señal de regeneración del campo es correcta, si la válvula se posiciona apropiadamente y la bomba está corriendo, el módulo entrará en el modo de corrimiento. En la recepción del comando de detención, el módulo detiene la bomba y cierra la válvula.

Si ninguna falla se presenta, el módulo entrará de nuevo en un estado apagado, preparado para reiniciar. Una condición de emergencia pondrá al módulo en un modo de falla. Para poner al módulo de nuevo en corrimiento, se controla el re-arranque solo, si la falla se ha identificado y se ha eliminado fácilmente, o se opera el control de detención solo, si la falla requiere mantenimiento.

El acercamiento del “Módulo de Control” es basado en una estructura diferente, en el funcionamiento de un solo dispositivo o los componentes físicos. Considerando que la falla requiere ser identificada, es necesario que el “Modulo de Control” accione, manual o automáticamente una alarma de seguridad, como se muestra en la siguiente figura:

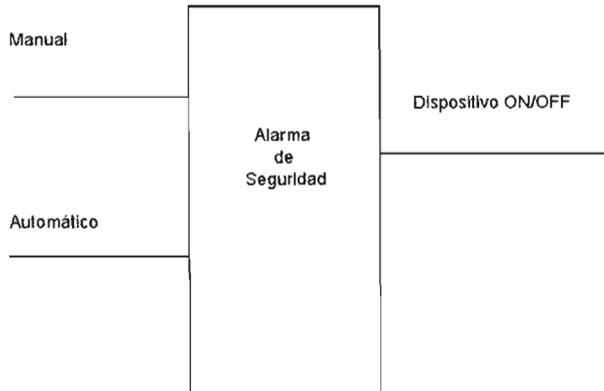


Figura 5.9 Módulo de Control

Los dos comandos manual/automático originan señales para la supervisión del sistema que son filtrados por una estructura de códigos que puede controlar la alarma de seguridad, así como los dispositivos a ser operados primero (un dispositivo accionador).

El comando manual se da por el sistema de control, considerando que la orden automática se genera por el software del lote, que opera los varios dispositivos de acuerdo con los pasos de la prescripción. Una falla en el sistema del lote causará que los dispositivos asociados con el paso tengan una falla y deban detenerse inmediatamente.

El módulo de equipo y el módulo de control estructuran la necesidad por parte del código del sistema de control, para unirlos con el sistema por lotes. La estructura se llama fase. Los elementos principales de la fase son las órdenes, parámetros, e informes. La fase envía órdenes y parámetros al módulo de control y este a su vez al módulo de equipo. El módulo de control envía los informes a la fase. En el ejemplo de adición de agua, el módulo de control recibe los parámetros siguientes de la fase:

- Tipo de líquido (Agua Caliente)
- Cantidad a ser agregada
- Comandos de Arranque/Paro



El módulo de control devuelve el siguiente informe:

- Cantidad agregada (atrás de la fase)

Mediante el uso de la Norma ANSI/ISA S88, se reduce de manera significativa la programación del sistema, dado que la solución para estos procesos, se da de forma automática, es decir, con el solo hecho de realizar una buena practica de manufactura, con los modelos fisicos y de procedimientos adecuados, se podrá repetir y seguir usando cada fase, tantas veces sea necesario, y con ello mejorar cada proceso, hasta obtener de manera optima el producto final.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Para cumplir con el objetivo planeado al inicio de esta tesis, fue necesario analizar y comprender, desde un enfoque diferente, los requerimientos que permiten el desarrollo de ciertos criterios desde el punto de vista industrial.

Tomando en perspectiva los conceptos de la instrumentación, la automatización y el control, se puede conocer la importancia que tiene cada uno de ellos en los procesos industriales, así como entender el propósito por el cual fueron creados, ya que sin ellos no sería posible realizar la optimización de estos procesos, ni la obtención de una buena metodología para mejorar significativamente el desarrollo de sus controladores y obtener con ello, los cambios requeridos para soportar un sistema de control más flexible.

La Norma ANSI/ISA S88 ayuda de manera significativa al área de manufactura en la industria, ya que abre la caja negra del proceso para resolver el registro de los datos del proceso, permitiendo al usuario mantener altos niveles de calidad y seguridad; además, muestra aquellos valores que se deben almacenar, y en que orden sucedieron, para generar los certificados de producto necesarios para su comercialización en el mercado internacional.

La utilización del control de procesos por lotes con la ayuda de la Norma ANSI/ISA S88, tratada en esta tesis, aporta a la industria en general la flexibilidad para desarrollar nuevos productos, y optimizar las buenas prácticas actuales de manufactura. Esta flexibilidad se logra gracias a un desarrollo adecuado de su sistema, el cual permite realizar cambios en el procedimiento sin tener que modificar su ambiente de control.

Los modelos de la Norma ANSI/ISA S88, identifican dos tipos de elementos de procedimiento: la receta y el equipo, cuando una receta es ejecutada, esta debe enlazarse al equipo. La Norma ANSI/ISA S88 modela el funcionamiento mediante el cual estos elementos pueden ser enlazados a cualquier nivel del proceso, esta unión proporciona una gran flexibilidad en la fabricación del producto.



Para que la aplicación de un sistema de control por lotes sea exitosa, es necesario que las funciones de operación y de fase, se lleven a cabo después de la modularización del proceso, lo que permite diseñar las fases del equipo y sus operaciones mediante los procedimientos de la Norma ANSI/ISA S88, esto ayuda a aumentar al máximo, el rendimiento de las mismas.

La instalación de un sistema de control por lotes, con base en los modelos de la Norma ANSI/ISA S88, aporta, por ejemplo, a la industria cervecera, la flexibilidad que ellos necesitan para desarrollar nuevos productos o refinar y optimizar las prácticas actuales de elaboración. Esta flexibilidad se logra mediante la disponibilidad de un sistema configurable que permite a este tipo de industria definir como se usa el equipo y en que tipo de procesos para obtener los máximos beneficios.

Un sistema desarrollado adecuadamente permite realizar cambios en el procedimiento sin tener que modificar o realizar cambios al ambiente de control. Además de la configuración y el control de procesos basado en las formulaciones, la Norma ANSI/ISA S88 mejora el registro de cada lote, en donde se concentra la información a partir de los datos que se capturan automáticamente durante el curso de la elaboración de un lote.

Utilizando esta Norma de acuerdo a los recursos que se tienen (modelo físico) y la manera en que se utilizan (modelo de procedimientos) se pueden ubicar y conocer los equipos que se están utilizando y la manera en como se utilizan. Además permite documentar el proceso de acuerdo a un estándar internacional reconocido mundialmente, donde la información es: veraz, protegida, y de fácil uso.

La Norma ANSI/ISA S88, además de ser usada en la industria cervecera, también se utiliza en diferentes industrias como son: farmacéutica, cosméticos, productos de consumo, alimentos, bebidas, químicos, petroquímicos, entre otras.



RECOMENDACIONES

Se puede aplicar la Norma ANSI/ISA S88, en cualquier industria en la que exista un sistema de control de procesos por lotes, por lo que es importante señalar que la capacidad del equipo se define a través de sus fases, con lo que la funcionalidad de su unidad puede expresarse mediante la interpretación de las siguientes recomendaciones, las cuales ayudan a entender mejor los procedimientos y la terminología de la norma:

- Definir las células del proceso, mediante los parámetros de la Norma ANSI/ISA S88, para determinar el alcance del control de una receta y el área en la cual el lote va a mantener intacta su identidad.
- Definir las unidades según los principios de la Norma ANSI/ISA S88, para poder obtener las características de operación de las diferentes fases del equipo determinadas por la capacidad de receta de cada unidad.
- Definir el equipo con el cual se llevara acabo la acción del proceso, para cumplir con la relación de sus fases y de su funcionalidad.
- Definir fases de uso general que actúen recíprocamente con los operadores para lograr la flexibilidad del sistema de control por lotes y determinar el rendimiento de funcionalidad de cada modulo de control.

Con estas recomendaciones se da por terminada esta tesis, esperando que sea de gran ayuda en la comprensión de los procedimientos y de la terminología de la Norma ANSI/ISA S88, así cómo entender de que manera esta norma ayuda al control de procesos por lotes a obtener: reducción en los costos de implementación, instalación y mantenimiento; incrementar su funcionalidad y su flexibilidad, mediante la optimización y desarrollo de sus procesos, sin importar el tipo de industria que pueda requerirlo.



REFERENCIAS

- [Ref. 1.1]* Instrumentación Industrial
Creus Sole, Antonio
4^a. Edición
Alfaomega – Marcombo
- [Ref. 1.2]* Directorio Técnico de Automatización y Control de Procesos
Meyer, Leticia
7^a. Edición
Desierto Comunicaciones, S.A. de C.V.
- [Ref. 1.3]* Revista Automatización
Borrego Peña, René E.
No. 1 Junio/Agosto 1998
ISA – Sección Central México
- [Ref. 1.4]* Instrumentación Industrial Básica
Curso de Entrenamiento
1996
ISA – Región Latinoamericana
- [Ref. 2.1]* Ingeniería de Control Moderna
Ogata, K.
3^a. Edición
Prentice-Hall
- [Ref. 2.2]* Instrument Engineers Handbook
Process Control and Process Measurement and Analysis
Lipták, Béla G.
3^a Edition
ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society



- [Ref. 3.1]* Control Automático de Procesos: Teoría y Práctica
Smith, Carlos A.
Corripio, Armando B.
1997
Limusa
- [Ref. 3.2]* Sistemas de Control Digital para Aplicaciones Industriales
Morales Sánchez, Armando
Cruz del Camino, Salvador
Noviembre 2003
ISA – Sección Central México / IMP
- [Ref. 3.3]* Fundamentals of Process Control Theory
Murrill, Paul W.
3rd Edition
ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society
- [Ref. 4.1]* Computer Control of Batch Processes
Shaw, W. T.
1982
EMC Controls
- [Ref. 4.2]* Cost Effective Batch Control Systems Using Programmable Controllers
Staples, R. A. C.
1987
ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society
- [Ref. 4.3]* Batch Process Control Using programmable Controllers
Blickley, G. J.
July 1984
Control Engineering
- [Ref. 4.4]* Programmable Controller for Batch Processing
Urmie, M.
December 1982
Measurement & Control



- [Ref. 4.5]* Batch Control Practical Guides for Measurement and Control
Nisenfeld, A. E.
1995
ISA – The instrumentation, Systems, and Automation Society
- [Ref. 4.6]* Batch Control Systems Design, Application, and Implementation
Fisher, Thomas G.
ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society
- [Ref. 4.7]* A Design Tool Kit for Batch Process Control: Terminology and a Structural Model
Bristol, E. H.
October 1985
InTech International
- [Ref. 4.8]* A Model and terminology for Batch Control
Bristol, E. H.
1985
Spring Regional Meetings
- [Ref. 4.9]* Introduction to Batch Processing
PS. Sheet Application Note
August 1982
Fisher Controls
- [Ref. 4.10]* Integrated Management and Control of Batch Production Facilities
Smith, C. L:
December 1986
Texas Instruments
- [Ref. 4.11]* Norma ANSI/ISA S88
Batch Control, Part 1: Model and Terminology
October 1995
ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society



- [Ref. 4.12]* Process Control Solutions “Modular Automation”
Ponce Parada, Cesar
Rockwell Automation
- [Ref. 4.13]* Procesos Batch ANSI/ISA S88 en la Industria Farmacéutica
Ponce Parada, Cesar
Enero/Marzo 2004
InTech México
- [Ref. 5.1]* Segundo Seminario en Ciencias de la Vida
Ponce Parada, César
Septiembre 2004
Rockwell Automation
- [Ref. 5.2]* Process Control Instrumentation Technology
Johnson, Curtis D.
Second Edition 1982
John Wiley & Sons
- [Ref. 5.3]* The Official Journal of ISPE
Mangiarotti, Maurizio
Rizzi, Marco
January/February 2003 Vol. 23 No. 1
Merck Sharp & Dohme and Rockwell Automation Italy