



Diagramas de procesos.

Las industrias químicas están involucradas en la producción de una amplia variedad de productos que mejoran nuestra calidad de vida y que generan beneficios para las empresas directa e indirectamente relacionadas con el proceso productivo. En general, los procesos químicos son complejos y los ingenieros químicos en la industria se encuentran con una amplia variedad de diagramas de flujo. En estos procesos se manejan sustancias de una alta reactividad química, elevada toxicidad y que son corrosivas en condiciones de alta presión y temperatura.

Estas características pueden dar lugar a una serie de consecuencias potencialmente importantes, entre las que se incluyen riesgos de explosiones, daños medioambientales y riesgos para la salud humana. Es vital que no se produzcan errores por omisión de información en la comunicación entre las personas y/o los grupos que participan en el diseño y operación de la planta química. La información visual es la forma más clara de presentar todos los datos y la que tiene menos probabilidades de ser mal interpretada. Por estas razones es fundamental que los ingenieros químicos sean capaces de realizar adecuadamente diagramas de proceso y que adquieran habilidad en analizar e interpretar diagramas preparados por otras personas.

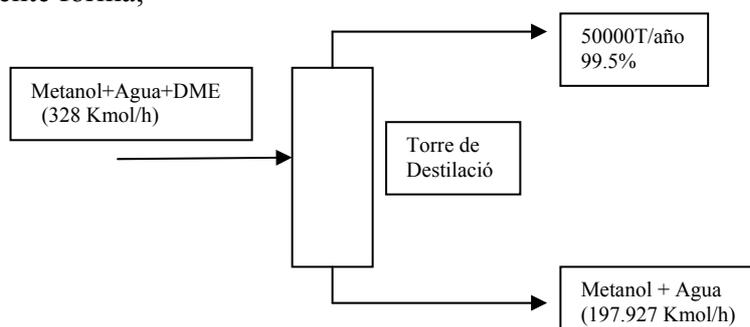
1. Diagramas de Bloques (BD).

Para resolver balances de materia y energía, el primer paso en la mayoría de las ocasiones consiste en convertir el texto del problema en un diagrama de bloques sencillo. Este diagrama está formado por una serie de bloques conectados por corrientes (flujos) de entrada y salida. Deben incluir condiciones de operación (temperatura y presión) y otra información importante, tal como el grado de conversión o el rendimiento de recuperación en base al enunciado del problema. No proporciona detalles sobre cómo funcionan los elementos individuales que forman parte de cada bloque, sino que se centra en las corrientes principales que definen el proceso.

El BD se puede realizar para un proceso simple o para una planta química completa que incluya muchos procesos químicos diferentes. Se pueden diferenciar llamando al primero de ellos diagrama de bloques de proceso y al segundo diagrama de bloques de planta.

1.1. Diagramas de bloques de proceso.

En nuestro diseño el diagrama de bloques será muy sencillo, ya que solo tenemos una torre de destilación con sus respectivos accesorios. El diagrama de bloque sirve para ver de forma esquematizada, la información que posemos. Para la Columna de Destilación de DME, tendrá la siguiente forma;





Este diagrama de bloques da una visión clara de la producción, sin que aparezcan detalles de proceso que puedan ocultar el fundamento del mismo. Cada bloque del diagrama representa una función del proceso y puede, en realidad, consistir en varias operaciones básicas o equipos.

El formato general y los criterios a seguir para preparar este tipo de diagramas son:

1. Las operaciones básicas se muestran en forma de bloques. No es necesario recurrir a la forma física real del equipo/s involucrados.
2. Las líneas de flujo o corrientes principales deben aparecer con flechas para indicar el sentido del flujo.
3. El sentido del flujo debe ir de izquierda a derecha siempre que sea posible.
4. Las corrientes ligeras (gases) deben salir por la parte superior de los bloques, mientras que las corrientes pesadas (líquidos y sólidos) deben salir por la parte inferior de los bloques.
5. Debe incluirse sólo la única información que sea crítica para definir el proceso (rendimientos, conversiones,...).
6. Si las líneas de flujo se cruzan, se mantendrá la línea horizontal continua y la vertical aparecerá dividida.
7. Se indicarán balances de materia simplificados siempre que se pueda.

Es cierto que el diagrama de bloque correspondiente a la Columna de DME, carece de mucha información del proceso, queda claro que es muy útil para tener una primera impresión de lo que sucede y explicar las características principales del proceso. Este tipo de diagramas son el punto de partida de los diagramas de flujo de proceso (PFD) que veremos más adelante.

2. Diagramas de Flujo de Proceso (PFD)

Los diagramas de flujo de proceso suponen, respecto a los diagramas de bloques, un escalón cuantitativo más en lo que se refiere a la cantidad de información que aportan. Un PFD contiene el grueso de todos los datos químicos necesarios que permiten el diseño de un proceso.

Para este tipo de diagramas ya no existe una serie de criterios o normas estándar globalmente aceptadas por cualquier empresa, pero vamos a tratar de exponer las directrices que permitan elaborarlos con un mínimo de homogeneidad independientemente de los criterios particulares que cada empresa o grupo de ingeniería puedan manejar para cada caso concreto.

Un PFD convencional debe contener la siguiente información:

1. Representación de todos los equipos (operaciones básicas) principales, junto con su descripción. A cada equipo se le debe asignar un número o código único y un nombre que lo describa.



2. Todas las corrientes de proceso deberán aparecer identificadas con un número. Asimismo, se debe incluir una descripción de las condiciones de proceso (P, T, caudal,...) y la composición química de cada corriente. Estos datos se pueden incluir directamente en el PFD o pueden aparecer en una tabla anexa al diagrama.
3. Todas las corrientes o flujos auxiliares (vapor, agua de refrigeración, aire, ...) que afecten a los equipos principales.
4. Lazos básicos de control, de manera que se pueda observar la estrategia de control empleada a la hora de operar la planta en condiciones normales.

Queda claro, por tanto, que un PFD es un diagrama complejo que requiere de un esfuerzo sustancial para prepararlo. Es vital evitar errores en la presentación e interpretación de los mismos, de manera que sean sencillos de seguir. A menudo los PFD requieren de unos tamaños de papel considerablemente grandes e incluso se hace necesario unir varios formatos de papel para disponer de toda la información para un proceso completo. Este hecho hace que los ejemplos que se muestran a partir de este punto hayan sido simplificados, de manera que, sin perder el nivel de detalle exigido, permitan entender la filosofía y reglas generales para su elaboración.

La información básica que se proporciona en un PFD se puede clasificar en una de las tres siguientes categorías:

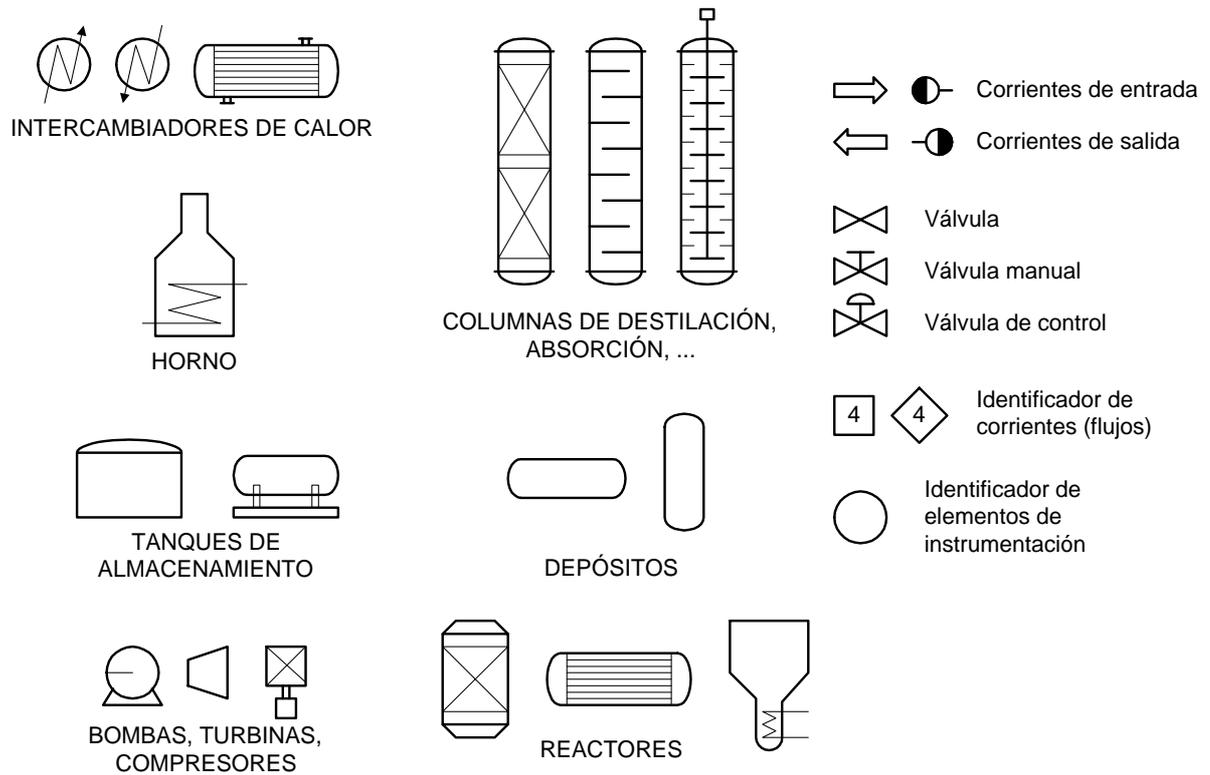
1. Topología del proceso.
2. Información de las corrientes.
3. Información de los equipos.

2.1. Topología del proceso.

Este diagrama esquemático muestra la ubicación de los equipos principales y las conexiones (corrientes) que existen entre ellos. La localización e interacción entre los equipos y las corrientes es lo que se conoce como la topología del proceso. Esta topología se puede representar mediante matrices de relación o matrices de incidencia ampliada.

En los planos, **Documento N° 3**, se encuentra un Diagrama de procesos de la Columna de destilación de DME, donde podemos comprobar que en este tipo de diagramas tiene más información de los datos de operación.

Los equipos se representan simbólicamente mediante "iconos" que identifican operaciones básicas específicas. Si bien existen juegos de símbolos normalizados de acuerdo a determinadas normas, es frecuente que cada compañía utilice su propia simbología para elaborar los diagramas de flujo. En la figura 1 se muestran algunos de los símbolos más representativos (en cualquier caso suponen el 90% de los que podemos encontrar en cualquier proceso en el que intervengan exclusivamente fluidos) y que difieren muy poco de los que podemos encontrar en cualquier diagrama real.



“Figura 1. Simbología empleada para la elaboración de diagramas de flujo”

Los criterios para el formato y la identificación de los números de equipo se muestran en la tabla 1. Dicha tabla proporciona la información necesaria para la identificación de los iconos de los equipos de un diagrama de flujo. La interpretación de los códigos que llevan los equipos son:

- **P-101A/B** indica que el equipo es una bomba (pump).
- **P-101A/B** indica que la bomba se encuentra situada en el área 100 de la planta.
- **P-101A/B** indica que esta bomba es el equipo número 01 dentro del área 100.
- **P-101A/B** indica que existe una bomba redundante instalada.

Es decir, hay dos bombas idénticas con las identificaciones P-101A y P-101B, una de las cuales estará operativa mientras que la otra esté fuera de servicio y viceversa.

La designación del área 100 es arbitraria. Para cada proceso o planta completa la designación de los números de área es diferente. Por ejemplo el equipo T-63010, correspondería al área 63 de una determinada planta. Esta designación tiene la ventaja de que de una manera muy rápida se puede identificar en qué parte de la planta se encuentra cada equipo.

Durante el ciclo de vida de una planta es frecuente que se produzcan modificaciones en el proceso que supongan la supresión y/o sustitución de quipos. En este último caso cuando el nuevo equipo va a realizar la misma tarea que el equipo a sustituir, no es raro encontrarse con que se mantiene el mismo número de identificación. A lo sumo se le puede añadir alguna letra para identificar que se trata de un equipo nuevo (El antiguo intercambiado E-101 se reemplaza por uno similar cuyo número será E-101).



Obviamente, si los nuevos equipos van a realizar una tarea sustancialmente diferente o se va a modificar el esquema de proceso, es necesario asignar nuevos números.

“Tabla 1. Criterios generales para la identificación de los equipos de proceso”

Equipo de proceso**Formato general XX-YZZ A/B**

XX Letras de identificación para la clasificación de los equipos

C- Compresor o turbina

E - Intercambiador de calor (Heat Exchanger)

H - Horno (Fired Heater)

P - Bomba (Pump)

R - Reactor

T - Torre o columna

TK - Tanque de almacenamiento

V - Depósito (Vessel)

Y designa un área dentro de la planta

ZZ es el número de designación para cada elemento dentro de cada clase de equipos.

A/B identifica la posible presencia de equipos redundantes.

Cada corriente de proceso queda identificada por un número situado dentro de un cuadrado encima de cada línea. El sentido de las corrientes queda definido por una o más flechas. Los números de las corrientes de proceso sirven para identificarlas en el PFD y el tipo de información que se suele proporcionar se explica en el apartado 2.2.

También se identifican las corrientes auxiliares. Estas corrientes auxiliares (utilities) corresponden a suministros de electricidad, aire comprimido, agua de refrigeración, vapor, etc..., que son indispensables para el funcionamiento de la planta pero que no forman parte de los flujos principales del proceso. En la tabla 2 se da una lista de los servicios auxiliares más frecuentes empleados en la industria química, así como de la nomenclatura empleada para su identificación. En cualquier caso, siempre resultará imprescindible incluir en los planos una leyenda en la que se identifique claramente esta terminología, que puede variar ligeramente para proyectos y empresas diferentes.



“Tabla 2. Criterios y nomenclatura para identificación de las corrientes auxiliares y de proceso”

Corrientes de proceso	
Se emplean todos los criterios y nomenclatura descritos en la tabla 1. Los cuadrados con el número de cada corriente en su interior deben estar situados sobre cada línea de flujo. El sentido del flujo debe quedar claramente identificado mediante flechas al final de cada línea de flujo.	
Corrientes auxiliares	
lps	Vapor de baja presión: 3-5 barg (sat)
mpps	Vapor de media presión: 10-15 barg (sat)
hps	Vapor de alta presión: 40-50 barg (sat)
htm	Fluido térmico: hasta 400 °C
cw	Agua de enfriamiento: Procedente de torres de refrigeración a 30 °C
rw	Agua de refrigeración: 5-15 °C
rb	Fluido refrigerante: hasta -45 °C
cs	Agua residual química con elevada DQO
ss	Agua residual sanitaria con elevada DBO
el	Calefacción eléctrica (se debe especificar la tensión de servicio)
ng	Gas natural
fg	Fuel gas
fo	Fuel oil
fw	Agua contra incendios

La mayoría de los servicios indicados están relacionados con aquellos equipos en los que se aporta o retira calor del proceso principal para controlar las temperaturas, situación habitual para la mayoría de los procesos químicos.

2.2. Información de las corrientes.

La identificación de las corrientes de proceso tiene que ser clara. En el caso de diagramas de flujo pequeños que contienen pocas operaciones básicas o equipos, las especificaciones de las corrientes, tales como temperatura, presión, composición y caudales se pueden mostrar directamente en el PFD, al lado de cada corriente. Sin embargo este sistema no es práctico para un diagrama más complejo, puesto que corremos el riesgo de incluir tal cantidad de información que resulte difícil de identificar y asignar. Para estos diagramas más complejos bastará con incluir el número de identificación de cada corriente. Dicho número nos servirá como referencia para entrar en una tabla anexa resumen de corrientes que suele aparecer en la parte inferior del PFD.



2.3. Información de los equipos.

La parte final del diagrama de flujo de proceso (PFD) es la información referente a los equipos (operaciones básicas) que conforman la planta. Esta información resumida o abreviada de los equipos debe proporcionar los datos necesarios para estimar los costes de los equipos y fijar las bases para el diseño detallado de los equipos (ingeniería de detalle). La tabla 3 aporta la información necesaria para elaborar estos resúmenes de especificaciones de equipos para la mayoría de las operaciones básicas que nos podemos encontrar en procesos químicos industriales en los que intervengan exclusivamente fluidos.

“Tabla 3. Especificaciones de equipos que debe reflejarse en los PFD y PID”

Tipo de equipo
Descripción del equipo
Torres y columnas
Tamaño (diámetro y altura), presión y temperatura Número y tipo de platos Altura y tipo de relleno Materiales de construcción
Intercambiadores de calor
Tipo: Gas-Gas, Gas-Líquido, Líquido-Líquido, Condensador, Vaporizador Especificaciones de proceso: Carga térmica, superficie, temperatura y presión de las corrientes Número de pasos por carcasa y tubos Materiales de construcción: Carcasa y tubos
Tanques, Depósitos y Recipientes
Altura, diámetro, orientación, presión, temperatura y materiales de construcción
Bombas
Caudal, presión de descarga, temperatura, ΔP , tipo de accionamiento, potencia en el eje, materiales de construcción.
Compresores
Caudal volumétrico de entrada, temperatura, presión, tipo de accionamiento, potencia en el eje, materiales de construcción
Hornos, Quemadores
Tipo, presión en los tubos, temperatura de los tubos, carga térmica, combustible, materiales de construcción.
Otros
Se debe proporcionar la información que sea crítica para el proceso.



La forma de cada etiqueta identifica el tipo de información al que corresponde el valor numérico incluido en ellas. La figura 2 muestra los formatos de etiquetas más habituales. Estas etiquetas juegan un doble papel. Por un lado, proporcionan información que es necesaria en el diseño de la planta y que sirve de base para la construcción de la misma. Por otro lado, permite el análisis de problemas de operación durante el ciclo de producción de la planta. Estas etiquetas deben estar claramente conectadas a la corriente a la que hacen referencia y en ningún caso deben confundirse con operaciones básicas o equipos de proceso.

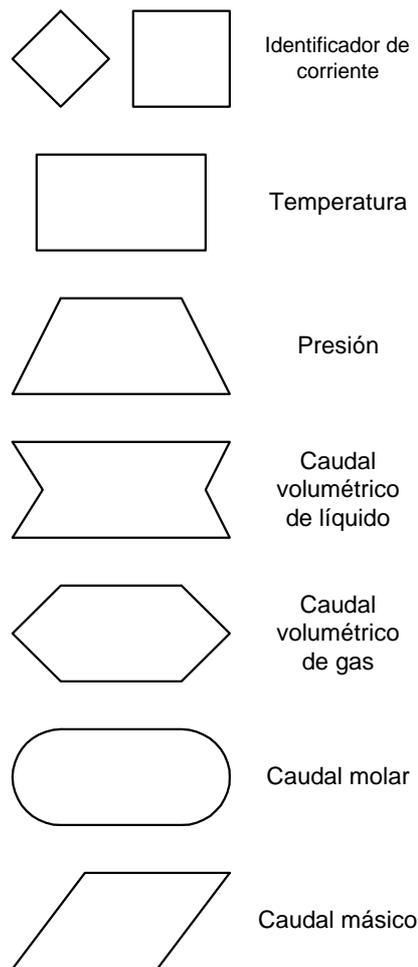


Figura 2. Símbolos para las etiquetas de especificación de corrientes

El hecho de que la presencia de estas etiquetas pueda reducir el tamaño de las tablas resumen de corrientes no es un factor que condicione su utilización. Para el caso de bombas, compresores e intercambiadores de calor, los caudales másicos son iguales a la entrada y a la salida, por lo que nos podemos evitar su duplicidad en la tabla de corrientes indicando simplemente mediante una etiqueta las condiciones de presión y/o temperatura en la corriente de salida correspondiente. Es muy importante entender que incluir información redundante sólo sirve para dificultar el análisis y seguimiento del proceso.



El valor del PFD no finaliza con la construcción de la planta. Una vez en marcha, sigue siendo el documento que mejor describe la instalación y que se emplea en la formación de operadores y nuevos ingenieros, convirtiéndose en una herramienta que se consulta habitualmente para diagnosticar los problemas de operación que puedan surgir y predecir los efectos que sobre el proceso puede tener la modificación de determinadas variables.

3. Diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID).

Los diagramas de tuberías e instrumentación (P&I hace referencia a "piping and instrumentation") o los diagramas mecánicos de flujo (MFD) proporcionan la información que necesitan los ingenieros para comenzar a planificar la construcción de la planta. Un P&ID incluye cualquier aspecto mecánico de la planta excepto la siguiente información:

- Condiciones de operación, presión y temperatura.
- Caudales de las corrientes.
- Localización de los equipos.
- Trazado de tuberías.
 - Longitudes.
 - Conexiones.
- Soportes, estructuras y cimentaciones.

“Tabla 4. Criterios para la elaboración de un P&ID”

Equipos: Mostrar cada elemento incluyendo
Unidades separadas Unidades en paralelo Resumen de las especificaciones de cada equipo
Tuberías: Incluir todas las líneas, incluyendo purgas y tomas de muestra y especificar:
Tamaño (emplear designaciones estándar) Schedule (Espesor) Materiales de construcción Aislamiento (tipo y espesor)
Instrumentación: Identificar
Indicadores Registradores Controladores Mostrar los lazos de control principales
Servicios auxiliares: Identificar
Puntos de entrada Puntos de salida Puntos de salida hacia el área de tratamiento de residuos



Como alternativa se puede numerar cada tubería y las especificaciones de cada línea se pueden recoger en una tabla anexa al diagrama. Siempre que sea posible, el tamaño físico de las operaciones unitarias más importantes debe guardar relación con el tamaño del símbolo empleado en el diagrama. Las conexiones de los servicios auxiliares (vapor, agua de refrigeración, etc...) quedan identificadas mediante un número dentro de una caja en el P&ID.

La leyenda para identificar estos servicios auxiliares también debe quedar recogida en una tabla en el P&ID.

“Tabla 5. Criterios para la identificación de los elementos del sistema de control”

Ubicación de cada elemento	
	Elemento de instrumentación situado en planta
 	Elemento de instrumentación situado en panel de control
Significado de las letras de identificación	
Primera letra (X)	Segunda o tercera letra (Y)
Análisis	Alarma
Llama del quemador	
Conductividad	Control
Densidad	
Tensión	Elemento
Caudal	
Medición manual	Alto
Intensidad de corriente	Indicación
Potencia	
Tiempo	Puesto de control
Nivel	Ligero o bajo
Humedad	Medio o intermedio
	Orificio
Presión o vacío	Punto
Cantidad	
Radioactividad o razón	Registro o impresión
Velocidad o frecuencia	Conmutador
Temperatura	Transmisor
Viscosidad	Válvula
Masa	Bien
	Relé o cálculo
Posición	Accionamiento
Identificación de las líneas de instrumentación	
	Neumática
	Eléctrica



Toda la información de proceso que puede ser medida en la planta se muestra en el P&ID dentro de círculos. Esto incluye la información que se va a registrar y la que se va a utilizar para los lazos de control del proceso. La ubicación de estos círculos en el diagrama indica dónde se obtiene la información del proceso e identifican las medidas que se realizan y cómo se trata la información. La tabla 5 resume los criterios principales para identificar la información relativa a los elementos de control e instrumentación.

Merece la pena recordar que en la mayoría de los procesos químicos el elemento final de control es una válvula. Esto quiere decir que toda la estrategia de control está basada en el efecto que tiene en determinadas variables de proceso el cambio en el caudal de alguna corriente. La clave para entender la lógica del control es identificar qué caudal se está manipulando para controlar una determinada variable. Una vez hecho esto es relativamente sencillo ver en qué sentido debe cambiar la apertura o cierre de una válvula para producir el cambio deseado en la variable que se quiere controlar. El tiempo de respuesta del sistema y el tipo de acción de control empleada (proporcional, integral y/o derivativa) es una tarea que queda para los ingenieros de control.

El P&ID es la última etapa del proceso de diseño básico y sirve como guía para los responsables del diseño final y la construcción de la planta. En base a estos diagramas:

- Los ingenieros civiles y mecánicos diseñan e instalan los equipos.
- Los ingenieros de instrumentación especifican, instalan y comprueban los sistemas de control.
- Los ingenieros responsables de las conducciones desarrollan la distribución en planta y en 3D.
- Los ingenieros de organización elaboran la planificación temporal de los trabajos de construcción de la planta.

Los P&ID también se emplean para la formación de los operadores de planta. Una vez que la planta está construida y está operativa, hay unos límites claros para lo que puede hacer un operador. Para cambiar o mejorar el rendimiento de alguna unidad de la planta, lo más que se permite es abrir, cerrar o cambiar la posición de una válvula. Parte del trabajo de formación del operador consiste en la simulación de situaciones en las que el operador debe decidir qué válvula hay que cambiar, cuánto hay que abrirla o cerrarla y qué variables se deben vigilar para comprobar los efectos producidos por dicho cambio.

Los P&ID también son especialmente útiles en la elaboración de los procedimientos de puesta en marcha y parada, en los cuales el sistema no está sujeto al sistema de control instalado para el funcionamiento ordinario de la instalación.

En los planos, **Documento N° 3**, se adjunta un diagrama de control e instrumentación.

4. Diagramas complementarios

Durante las fases de planificación y construcción de un nuevo proyecto son necesarios varios diagramas adicionales. Si bien estos diagramas son esenciales para finalizar con éxito la construcción de la planta, no proporcionan información adicional sobre el proceso, por lo que mencionaremos brevemente los más habituales:



- Diagramas de servicios auxiliares: Debe mostrar todas las corrientes disponibles de servicios auxiliares (vapor, agua de refrigeración, etc...)
- Diagramas de ubicación y elevación de los equipos: Deben indicar las cotas de altura y situación de los equipos principales, de forma que sea posible el acceso a ellos para tareas de reparación y/o mantenimiento.
- Diagrama isométrico de tuberías: Indican la elevación y orientación de cada tramo de tubería.
- Planos de situación y emplazamiento.
- Diagramas unifilares.
- Diagramas estructurales de soportes.

Podrían haberse incluido muchos otros diagramas que son empleados habitualmente pero que no añaden nada nuevo sobre los principios químicos básicos que definen el proceso.