

“Tecnología: 1. Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico. 2. Tratado de los términos técnicos. 3. Lenguaje propio de una ciencia o de un arte. 4. Conjunto de los instrumentos y procedimientos industriales de un determinado sector o producto.

Proceso: 1. Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.”

— Real Academia Española

10

Tecnología del proyecto: ingeniería de proceso

Contenidos

10.1 Introducción	3
10.1.1 Objetivos	3
10.2 El proceso de fabricación	3
10.3 Ingeniería de proceso	5
10.3.1 Operaciones de manipulación física	7
10.3.2 Operaciones de separación	7
10.3.3 Transferencia de energía	8
10.3.4 Transferencia de materia	8
10.4 Bases de diseño	9
10.5 Diseño del proceso. Diagramas y balances	10
10.5.1 Diagramas de bloques	10
10.5.2 Diagramas de materiales y energía	10
10.5.3 Diagramas de flujo de proceso	10
10.5.4 Diagramas PID	13
10.5.5 Redacción de especificaciones de equipos	23
10.5.6 Diagramas eléctricos	23
10.5.7 Planos de implantación	23
10.6 Información de proceso	23

10.7 Conclusiones	24
10.7.1 Puntos tratados	24
10.7.2 Preguntas abiertas	25
10.7.3 Lecturas recomendadas	25
Bibliografía	26

10.1 Introducción

10.1.1 Objetivos

Tras esta lección, el alumno conocerá:

- El proceso de fabricación.
- La ingeniería de proceso.
- Los diagramas de flujo.
- El significado de los P&ID.
- Herramientas de conceptualización del proceso.

10.2 El proceso de fabricación

En aquellos proyectos en los que, por su complejidad en términos de los diferentes gremios y equipos implicados, se requiere desarrollar un intenso trabajo de ingeniería previa a la realización de los trabajos para la materialización de lo definido y calculado, es precisa una etapa para determinar una serie de aspectos que deben quedar establecidos desde los momentos iniciales, como marco de referencia:

- Etapa en la que se considera **cómo y con qué** se va a fabricar para que en las siguientes etapas se distribuya el proceso en el espacio (lay-out) y se predimensionen los equipos necesarios.
- Conjunto de **operaciones que se van a llevar a cabo** en el sistema, características tecnológicas principales y las relaciones que deben existir entre ellas para transformar unas materias primas en el producto o productos finales.

En definitiva se trata de establecer el o los procesos implicados en el proceso de fabricación, teniendo claro que las **Diferencias básicas** entre los procesos se centran en:

- Utilización de materias primas diferentes tanto desde el punto de vista cualitativo como del cuantitativo.
- Consumos energéticos distintos (balances de energía diferentes).
- Equipos necesarios para cada proceso.
- Características de las instalaciones.
- Necesidades de mano de obra.
- Costes de inversión y de manutención.
- Diversidad en los niveles óptimos de producción.
- Calidad de los productos elaborados.
- Impacto ambiental.

Evidentemente la importancia de las **decisiones sobre el proceso** residen en aspectos tales como:

- Capacidad de producción: según el tamaño decidido en las etapas previas.
- Calidad del producto: de acuerdo a los estándares de diseño.

- Costes de producción: materias primas, energía, mano de obra, servicios, etc.

Las diferentes **tipologías de procesos** potenciales se pueden clasificar de diferentes modos, por ejemplo:

Atendiendo a la secuencia de producción:

- Producción continua:
 - La conversión de materias primas en productos terminados se realiza como un flujo ininterrumpido en el tiempo (hornos, refinerías de petróleo, algunas plantas químicas, etc.).
 - Interrupciones costosas (cada etapa exige determinadas características técnicas que si no son cumplidas por detenerse la producción provocan grandes pérdidas).
 - Incluyen aquellos procesos repetitivos de producción en masa de bienes iguales o producción en serie o por lotes (automóviles, electrodomésticos, calzado, etc.).
- Producción discreta:
 - Forma de producir bienes no tipificados (obras públicas, construcción de buques, talleres de reparaciones, grandes motores para buques o centrales de energía, etc.).
 - Interrupciones no plantean tantos problemas técnicos (los mismos equipos o talleres pueden ser utilizados en varias operaciones de modo sucesivo).
 - Incluye la producción por encargo o pedido (productos muy específicos donde el cliente expone las características deseadas o productos con un coste tan elevado que sólo son producidos cuando existe una demanda cierta o un pedido).

Según la gama de productos obtenidos:

- Producción simple:
 - Se obtiene un solo producto de características homogéneas.
- Producción múltiple:
 - Se producen varios productos diferenciados y que técnicamente pueden ser interdependientes o no.
- Procesos de producción múltiple independiente:
 - La empresa tiene varias explotaciones monopductoras o distintas cadenas de producción independientes.
- Procesos de producción múltiple alternativa:
 - La empresa trabaja en base a pedidos o con producción intermitente (problemas de asignación de mano de obra y de los bienes de equipo a cada cadena transformadora).
- Procesos de producción múltiple compuesta:
 - De un mismo proceso se puede obtener más de un producto o que al menos parte de él sea común a más de un producto (sistema normal de las empresas industriales).

Según la propiedad (Know-how) del proceso:

- Utilización de un proceso de terceros, con las debidas licencias.
- Utilización de su propia organización para realizar la ingeniería de proceso necesaria.
- Las dos alternativas exigen la existencia de un departamento de procesos que en algunos casos realice el propio diseño completo del proceso, y que en otros analice, estudie y canalice la información procedente del correspondiente dueño de la licencia.

Según las alternativas de procesos existentes para un determinado proceso productivo, pueden darse diferentes **formas de decisión** del proyectista sobre el proceso:

- Restringida con pocas alternativas tecnológicas competitivas para el proceso o que no sea tan importante en comparación con otras decisiones como la localización, comercialización del producto, etc. (*proyectos centrados en el producto, de tipo mecánico o físico, de tecnologías tradicionales*).
- Proyectos en que la decisión sobre el proceso es absolutamente fundamental para el resto del proyecto (*plantas de proceso y la ingeniería de procesos*).

Para los primeros el proceso tiende a significar pequeñas o despreciables variaciones entre diferentes alternativas y por tanto no consumen cantidades relevantes de esfuerzo de ingeniería en su establecimiento mientras que para los segundos es esencial y se ha desarrollado un cuerpo metodológico propio. Vamos a estudiar en más detalle pues este último tipo de situaciones.

10.3 Ingeniería de proceso

Al efectuar los estudios previos se realizó un análisis y evaluación de los posibles procesos y se seleccionó uno de ellos. Éste se tomó como base del proyecto que proporcionó abundante información para los trabajos y decisiones subsiguientes.

En la primera etapa de la Ingeniería Básica, como ya se ha indicado anteriormente, ***corresponde revisar de forma profunda la información recogida para poder introducir las modificaciones que sean necesarias a fin de actualizar el proyecto con los mejores y más próximos conocimientos sobre el mismo***[3], incluso con estudios más profundos que permitan asegurar una fiabilidad total del mismo, aunque en relación al proceso, lo habitual es que haya pocas modificaciones.

En los casos de instalaciones de proceso, la «empresa de ingeniería» se encuentra con dos alternativas: ***utilizar un proceso de terceros adquiriendo las debidas licencias o utilizar sus medios para realizar la ingeniería de proceso necesaria***.

La elección depende de la experiencia y medios del departamento de proceso de la empresa, de su intención de adquirir experiencia en el campo, de la sencillez del proceso a realizar y del coste de la adquisición de la tecnología al propietario de la patente.

Si se compra el proceso a terceros, será necesario formalizar el correspondiente contrato de transferencia de tecnología. Con esto se pretende disponer desde este momento, de toda la información necesaria del proceso para fases posteriores de la ingeniería básica y de desarrollo.

Se ha insistido que esto es lo frecuente en proyectos de instalaciones de proceso, aunque no se debe descartar que en campos determinados sea necesario y aún conveniente realizar dentro de la Empresa de Ingeniería y por medio de su departamento de procesos, el estudio y diseño de un proceso concreto. Esta opción es frecuente en aquellos procedimientos que no son especialmente complejos, cuya tecnología fundamental está disponible en la literatura científica y que no están protegidos por patentes[3]. En este caso ***habrá que detallar los datos generales que se usaron en los estudios previos en cuanto a materias primas,***

productos, rendimientos y consumos. Este grado de detalle, dentro de la ingeniería del proceso, será suficiente para que se pueda utilizar como parte fundamental de la Ingeniería Básica.

Teniendo en cuenta que en proyectos que requieran un intenso esfuerzo para definir el proceso se elaboraran, en su gran mayoría, planos y documentos de la especialidad de procesos, a continuación se definirá su alcance, y se hará una descripción detallada de los planos y documentos que elaboran los ingenieros de procesos.

La ingeniería de proceso es una de las actividades críticas y relevantes en la ejecución de un proyecto en cualquiera de sus fases, ya que ella determina los aspectos técnicos y condiciones de operación que presentará finalmente la Planta. El objetivo primordial de esta especialidad es establecer las características de todos y cada uno de los equipos y elementos de una Planta para materializar las operaciones físico-químicas. Como actividades principales de esta especialidad se pueden considerar:

- Determinación de la información básica indispensable para el diseño.
- Desarrollo de las especificaciones de materias primas, productos finales y subproductos, incluyendo sus características comerciales.
- Especificación de los productos químicos auxiliares que requiere el proceso, de los catalizadores y de los productos intermedios.
- Diseño básico y dimensionamiento de los equipos principales que integrarán el sistema de proceso, como hornos, reactores, vasijas (tanques), intercambiadores de calor, etc.
- Caracterización de las interrelaciones de una unidad de proceso con otras.
- Selección de los sistemas de control y su grado de automatización.
- Selección de los métodos y análisis de laboratorio para materias primas, productos en proceso y productos intermedios.
- Definición de las fuentes contaminantes del proceso y recomendación para su tratamiento.
- Elaboración de las guías de operación que contengan una descripción del proceso y sus variables, así como de los procedimientos de emergencia, arranque y apagado normal de las unidades, que servirán de base para la preparación de los manuales de operación definitivos durante la fase de la ingeniería detallada.
- Determinación del personal necesario para la operación de la Planta. Con respecto al diseño básico y dimensionamiento de equipos, los trabajos se pueden dividir en dos clases:
 - La primera se refiere a la determinación de equipos especiales que se comprarán bajo pedidos particulares, y
 - la segunda se limita a establecer las condiciones de operación y hojas de datos para equipos que pueden considerarse estándar.

En la primera clase están incluidos equipos del tipo de torres de absorción, unidades de extracción y reactores, entre otros. En la segunda se consideran equipos que realmente no se diseñan pero que se especifican, tales como intercambiadores, agitadores, mezcladores, bombas, filtros, etc.

Sin embargo se debe conocer suficientemente los métodos de selección empleados por los fabricantes, para así suministrar la información y los datos necesarios para tal fin.

Generalmente, la etapa de diseño de proceso se inicia después de establecer o definir la capacidad, las especificaciones finales de los productos que van a ser elaborados, el tipo de materias primas y la carga que recibirá la Planta en cuanto a su calidad, cantidad y características, así como los servicios industriales

requeridos, con sus cantidades, presiones y temperaturas.

Es preciso considerar durante el desarrollo del diseño de proceso, las operaciones futuras y los requerimientos del mercado proyectado, para darle a la Planta suficiente flexibilidad de expansión y asegurarle un incremento en la calidad del producto final.

Cuando la Planta vaya a construirse dentro de un complejo industrial las condiciones de los servicios industriales deben establecerse para que sean consistentes con los sistemas existentes, y compatibles con los requerimientos de las otras unidades.

Adicionalmente, se requiere determinar otros factores, tales como datos topográficos y geológicos sobre el sitio de la Planta, condiciones climáticas, alimentación y almacenamiento de productos y recibo y embarque de los mismos.

Es conveniente investigar, también, la disponibilidad en el mercado de equipos para los requerimientos de proceso, posibles limitaciones de fabricación, recuperación de calor, consumo de servicios industriales para los diversos equipos y unidades y limitaciones de mantenimiento.

Desde un punto de vista conceptual el proceso se puede descomponer en:

- Operaciones básicas.
- Principios unitarios (transformaciones de materias primas con presión y/o T^a).

Las operaciones básicas están constituidas por una serie de transformaciones fisicoquímicas que se pueden agrupar en:

10.3.1 Operaciones de manipulación física

- Transporte y almacenamiento de fluidos
- Transporte y almacenamiento de sólidos
- Operaciones de reducción de tamaño (tritución, molienda)
- Operaciones de clasificación por tamaños y Dosificación
- Agitación y mezcla (homogeneización)
- Fluidificación (aporte de gas para sustentar un sólido confiriéndole propiedades de un fluido).

10.3.2 Operaciones de separación

- Separación Sólido-Líquido (empleando la gravedad)
 - Sedimentación
 - Filtración
 - Centrifugación
- Separación Sólido-Gas
 - Sedimentación
 - Electrofiltración
 - Ciclones
 - Filtros de mangas

– Lavado

10.3.3 Transferencia de energía

- Intercambio térmico
- Vaporización
- Generación de vapor

10.3.4 Transferencia de materia

- Extracción Sólido-Líquido
- Extracción Líquido-Líquido
- Transferencia de materia y energía
- Destilación
- Absorción
- Adsorción
- Humidificación
- Secado
- Evaporación
- Cristalización

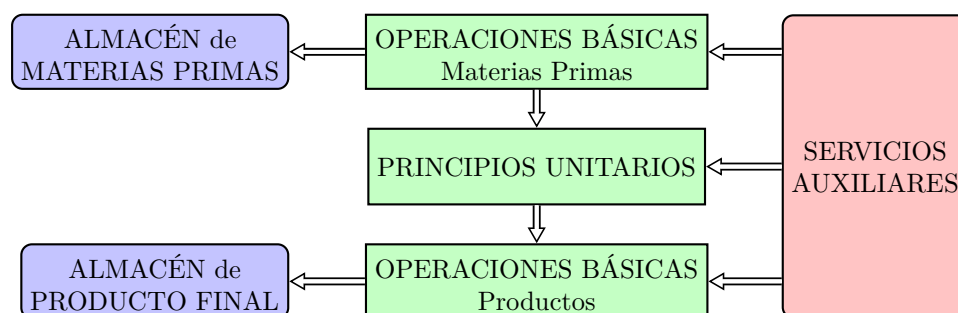


Figura 10.1: Operaciones de Transformación de Materia Prima

El conjunto de una planta que lleva a cabo cambios de fase y de estado en las materias primas, llevará a cabo estos principios unitarios en un reactor o serie de reactores que requerirán una serie de operaciones básicas (tanto para las materias primas como para los subproductos y productos tanto intermedios como finales). Previamente *será preciso cierto almacenamiento tanto de materias primas como de producto terminado, así como su transporte.*

Evidentemente será preciso disponer de ciertas instalaciones auxiliares (Servicios Auxiliares) que podrán ser o no centralizados en función de razones de seguridad, economía y flexibilidad, como por ejemplo: instalaciones de energía eléctrica, combustibles, vapor, agua, aire, gases inertes, etc. (ver Figura 10.1).

Los productos más usados en un proceso son:

- **Vapor de agua:** Se utiliza como fuente de energía en todas las aplicaciones que no requieran temperaturas excesivamente altas ($< 300\text{ C}$). Se centraliza siempre que las distancias no sean tan grandes que en el recorrido se produzcan pérdidas que no amorticen el beneficio de una única instalación. A veces si la presión varía en la planta se suele establecer una distribución en tres niveles: alta presión ($>20\text{bar}$), media ($20\text{bar} > p > 6\text{bar}$) y baja ($< 6\text{bar}$).
- **Agua de proceso:** Las características de cada proceso pueden condicionar la calidad del agua requerida. Esa calidad se obtiene mediante el adecuado tratamiento que puede ir desde la simple filtración o desarenado hasta la desmineralización, pasando por el ablandamiento, adición de biocidas, antiincrustantes, etc.
- **Agua de refrigeración:** Las necesidades de refrigeración de equipos e instalaciones se suelen cubrir con una red de agua de refrigeración, usualmente en circuito cerrado, con las consabidas torres de refrigeración. Este servicio no suele ser centralizado pues las torres son económicas y puede resultar más cara la red de refrigeración que la instalación de varios equipos.
- **Aire comprimido:** Las necesidades de aire comprimido de proceso o de instrumentación se satisfacen mediante compresores y accesorios (acumuladores, desecadores y desaceitadores). No suele centralizarse.

Aunque el diseño de procesos es una disciplina técnica, fundamentalmente apoyada en la Ingeniería Química, es conveniente dar una idea global de la metodología a seguir así como indicar que información final que se debe proporcionar.

10.4 Bases de diseño

Antes de iniciar el diseño del proceso, es necesario dejar sentadas unas bases claras de partida para todo el desarrollo posterior, como son[3]:

- El fijar claramente los productos a obtener y su calidad, mediante una completa especificación de los mismos parece obvio, pero es difícil de precisar en muchas ocasiones. Aspectos como el grado de pureza del producto, su contenido en humedad, o la proporción entre los distintos subproductos obtenidos, pueden ser causa de amplios estudios y difíciles discusiones (en la mayoría de las ocasiones será el mercado quien impondrá sus condiciones).
- El tamaño de la planta es función no solo de la cantidad de producto a obtener, sino del tipo de proceso (continuo o por lotes “batch”) y de las horas de operación al año.

La posibilidad de ampliaciones futuras puede afectar el tamaño de algunos equipos, que pueden sobredimensionarse previendo esta eventualidad.

El uso de equipos normalizados, en los límites superiores de una determinada línea de fabricación, permitirá obtener costes más bajos que otras soluciones.

- También la calidad de las materias primas, su procedencia, la posibilidad de orígenes distintos y de modificación de sus características por efecto del almacenamiento deben ser detalladamente contempladas.
- Los criterios económicos siempre han de estar presentes en cualquier diseño. La elección entre una primera inversión alta y unos costes de operación bajos, es un eterno dilema que hay que decidir en cada caso.

La flexibilidad del proceso y el nivel de seguridad en los resultados parciales de cada operación y en el global, deben ser atentamente estudiados con el claro criterio de que el exceso de factores de seguridad revierte siempre en un mayor coste de la planta. Este coste habrá que compararlo con el originado por una posible parada, evaluando el cese de producción, la pérdida de mercado, el lucro cesante, etc.

- Finalmente el plazo disponible afecta muy directamente a la economía de la planta. Un buen diseño necesita tiempo; con tiempo suficiente pueden estudiarse alternativas, valorarse y seleccionar la mejor, aunque está en contradicción con la necesidad de que el producto ya fabricado esté presente en el mercado antes de que el espacio disponible sea ocupado por la competencia.

Dentro de las bases de diseño hay que incluir una serie de datos locales, que condicionan el proceso y a los que ya nos referimos al hablar de los datos de partida incluidos en la información básica. En el caso de diseñar directamente el proceso, hay que tener en cuenta las condiciones locales con el objetivo de conseguir los mejores rendimientos en esa instalación concreta.

10.5 Diseño del proceso. Diagramas y balances

Una vez se establecen las bases del proceso, se continúa con las siguientes fases del procedimiento del diseño del proceso.

10.5.1 Diagramas de bloques

En el diagrama de bloques se establece inicialmente, siempre sobre el mismo esquema, los siguientes apartados: un gran bloque de materias primas, otro de servicios auxiliares y reactivos que en conexión con el primero origina el tercer gran bloque de productos.

El desglose de estos tres bloques en otros parciales, unidos por las líneas de intercambio correspondientes, permite obtener una primera visión del proceso en su conjunto y una idea de dónde queremos llegar y cómo vamos a conseguirlo.

El uso de los diagramas de bloques es útil en casos complejos, aunque cuando se dispone de cierta experiencia este primer paso suele omitirse con frecuencia.[3]

10.5.2 Diagramas de materiales y energía

Los balances de materiales y energía constituyen el arranque mismo del proceso y es donde los conocimientos específicos de química y físico-química son directamente aplicables.

Los balances analizan los flujos cualitativos y cuantitativos de todos los materiales que intervienen en el proceso, indicando su estado físico, presión, temperatura, etc. Suelen darse en forma de tablas que resumen cálculos y reacciones. También señalan aquellos puntos del proceso donde hay que disipar o suministrar calor y las cantidades de cada caso juntamente con la presión, temperatura, etc.

Todas las necesidades se calculan a partir del conocimiento de las propiedades físicas de los materiales que intervienen en el proceso y cuando éstas no se conocen y no se pueden obtener de ninguna fuente de información, será necesario recurrir al laboratorio y/o a la planta piloto.[3]

10.5.3 Diagramas de flujo de proceso

Una vez seleccionado el proceso específico, se dibuja un diagrama de flujo preliminar indicando los pasos y la secuencia básica del diseño. Con base en esta secuencia se elaboran los balances de masa y de energía, y los demás documentos técnicos específicos (ver 10.2).

Como resultado de los balances pueden definirse:

- Cargas térmicas de intercambiadores de calor, condensadores y enfriadores.

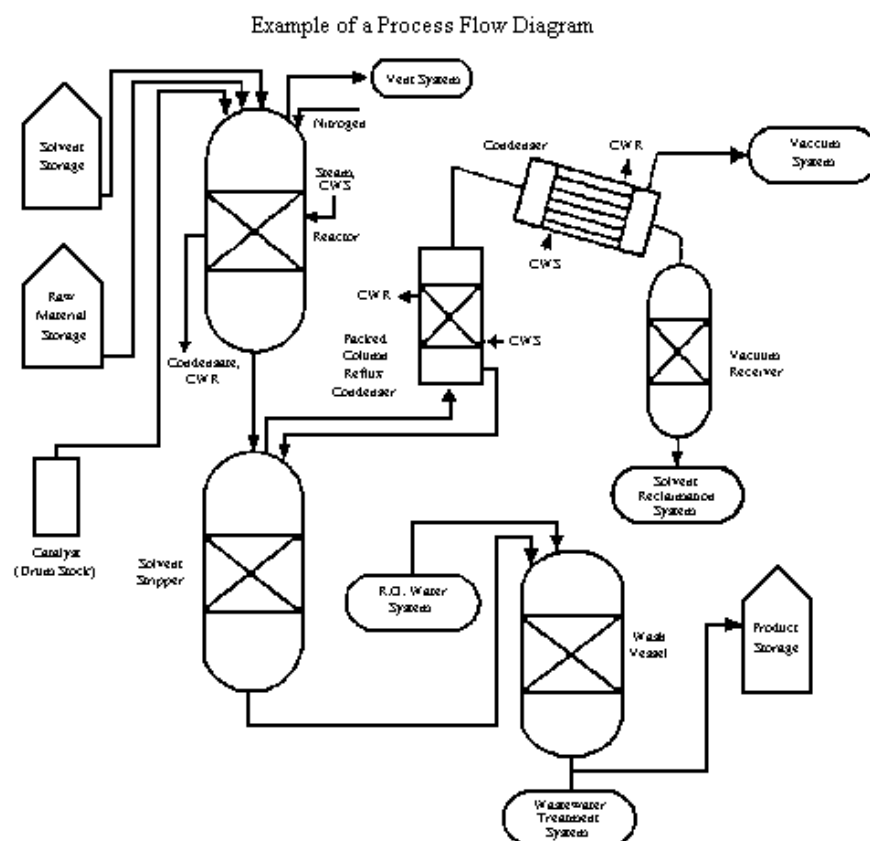


Figura 10.2: Ejemplo de Diagrama de Flujo. (Cortesía de <http://www.engineeringtoolbox.com/>)

- Cargas térmicas calderas, generadores y hornos.
- Flujos de vapor y líquidos en torres de fraccionamiento.
- Capacidades de bombas y válvulas de control.
- Capacidades de válvulas de seguridad y relevo.

Esta información permite iniciar la elaboración de los documentos principales de esta especialidad, que son los diagramas de flujo, fuente principal de información para las demás especialidades involucradas en el proyecto. Un buen diagrama de flujo debe ser lo más exacto posible, para eliminar errores de diseño y retrasos en el cronograma (ver 10.3).

Un diagrama de flujo -PFD- (o sistema diagrama de flujo -SFD-) muestra las relaciones entre los principales componentes del sistema. El PFD también permite tabular valores de diseño de procesos para los componentes en diferentes modos de funcionamiento, mínimo típico, normal y máximo. Un PFD no muestra componentes menores, sistemas de tuberías, las especificaciones de tuberías y de sus denominaciones.

Un PFD debe incluir:

- Tuberías de proceso.
- Símbolos equipos principales, nombres y números de identificación.
- Control, válvulas y válvulas que afectan la operación del sistema.
- La interconexión con otros sistemas.

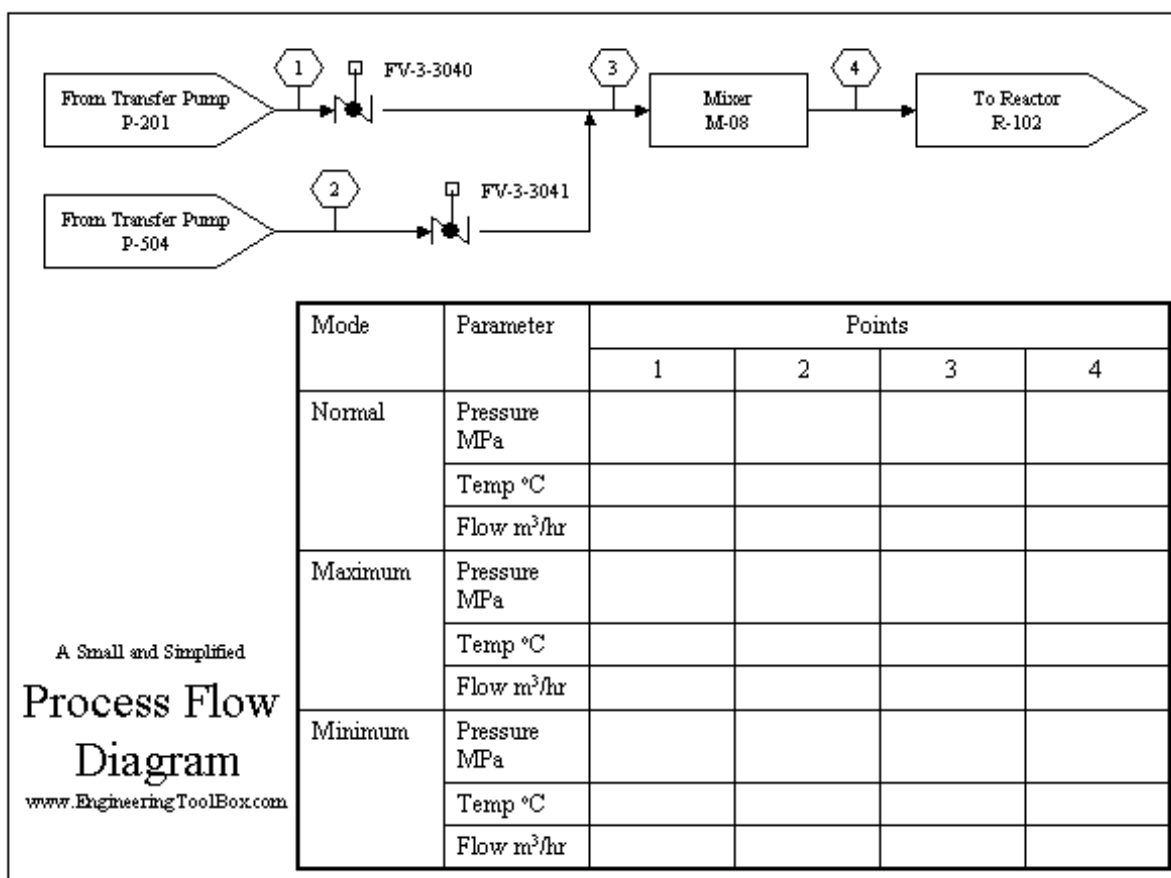


Figura 10.3: Diagrama de Flujo con anotaciones. (Cortesía de <http://www.engineeringtoolbox.com/>)

- Derivación principales y líneas de recirculación.
- Las calificaciones del sistema y los valores operativos como el flujo mínimo, normal y máximo, la temperatura y la presión.
- Mezclas de fluidos.

Los diagramas de flujo del sistema no deben incluir:

- Clase de tubería.
- Números de línea de tubería.
- Líneas de derivación de menor importancia.
- Válvulas de aislamiento y de cierre.
- Respiraderos de mantenimiento y drenajes.
- Alivio y válvula de seguridad.
- Información de la clase de código (especificación).
- Información de la clase sísmica.

En cambio esta información sí figurará en el diagrama de tuberías e instrumentación, conocido en terminología anglosajona como *P&ID* (*piping and instrumentation diagram*).

10.5.4 Diagramas PID

Un diagrama de tuberías e instrumentación también conocido del idioma inglés como piping and instrumentation diagram/drawing (P&ID) es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental (ver Figura 10.4) [6].

Contenido y Función.

Un diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) está definido por el Instituto de Instrumentación y Control de la siguiente manera [2]:

- Un diagrama que muestra la interconexión de equipos de proceso e instrumentos utilizados para controlar el proceso. En la industria de procesos, un conjunto estándar de símbolos se utiliza para preparar los dibujos de los procesos. El sistema de símbolos utilizados en estos dibujos se basa generalmente en Sistemas de Instrumentación y Automatización de la sociedad (ISA) Norma S5. 1.
- El principal esquema utilizado para la colocación de un proceso de control de la instalación.

Los P&ID desempeñan un papel importante en el mantenimiento y modificación del proceso que describen (ver Figura 10.5) [4].

Es fundamental para demostrar la secuencia física de los equipos y sistemas, así como la forma en que estos sistemas de conexión. Durante la etapa de diseño, el esquema también proporciona la base para el desarrollo de sistemas de control del sistema, lo que permite aumentar la seguridad operacional y las investigaciones, como los estudios de peligros y operabilidad (HAZOP).

	T001	P001
SERVICE	STORAGE TANK	FEED PUMP
DATA	DIAMETER: 1000 mm HEIGHT: 3000 mm CAPACITY: 2.4 m ³	FLOW RATE: 5 m ³ /h DIFF. PRESSURE: 2.5 bar
DESIGN PRESSURE	10 barg	10 barg
DESIGN TEMP.	50 °C	50 °C

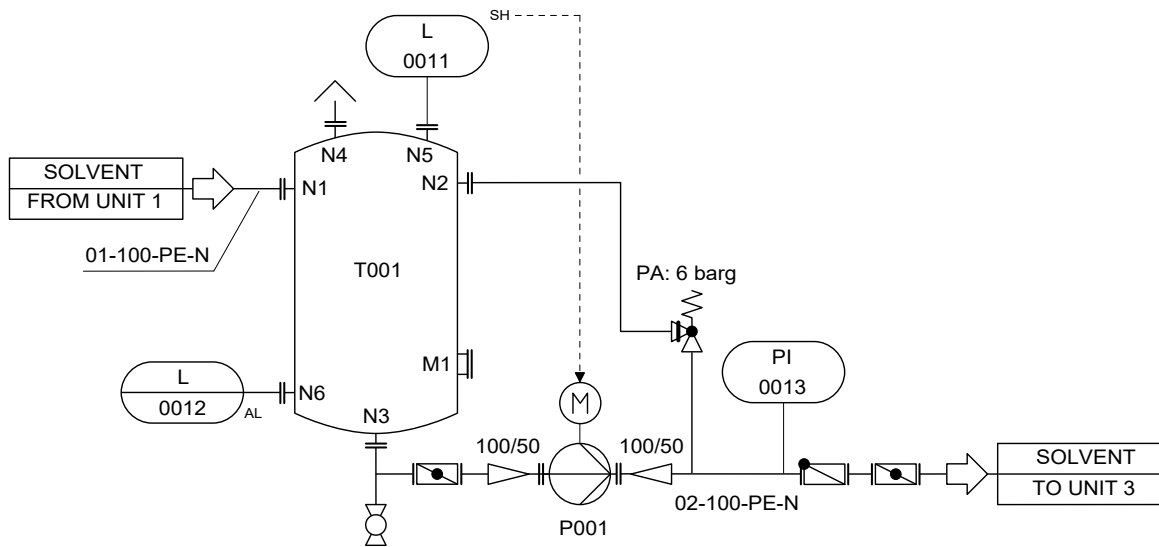


Figura 10.4: Ejemplo de Diagrama P&ID. Según EN ISO 10628, EN 62424. Fuente: Wikipedia.

Para las instalaciones de procesamiento, es una representación pictórica de:

- Instrumentos clave de las tuberías y los detalles.
- Control y sistemas de cierre.
- Seguridad y los requisitos reglamentarios.
- Puesta en marcha e información operativa.

Aí pues el P&ID es el plan maestro de los instrumentos y sistemas de control para el proyecto. Por ejemplo, si hay una discrepancia entre varios documentos, el P&ID es generalmente considerado como la máxima autoridad, por lo que el P&ID debe mantenerse actual tanto como sea posible.

El P&ID proporciona la información esquemática de todo el equipo para el proceso, toda la tubería con información sobre tamaños, incluyendo válvulas de bloqueo y otros dispositivos, instrumentos y controles, incluyendo tanto dispositivos de trabajo en línea como fuera de línea. También muestran los sistemas de servicios públicos para la planta.

Se desarrolla a partir de los diagramas de flujo de proceso (PFD). Las porciones de diseño mecánico e hidráulico de los P&ID suelen ser responsabilidad de Ingeniería de Sistemas, pero el diseño de instrumentación y control es responsabilidad de los Sistemas de Control de Ingeniería (CSE).

Nomenclatura en los P&ID.

Se suele designar, entre otros:

- Equipo mecánico con nombres y números.

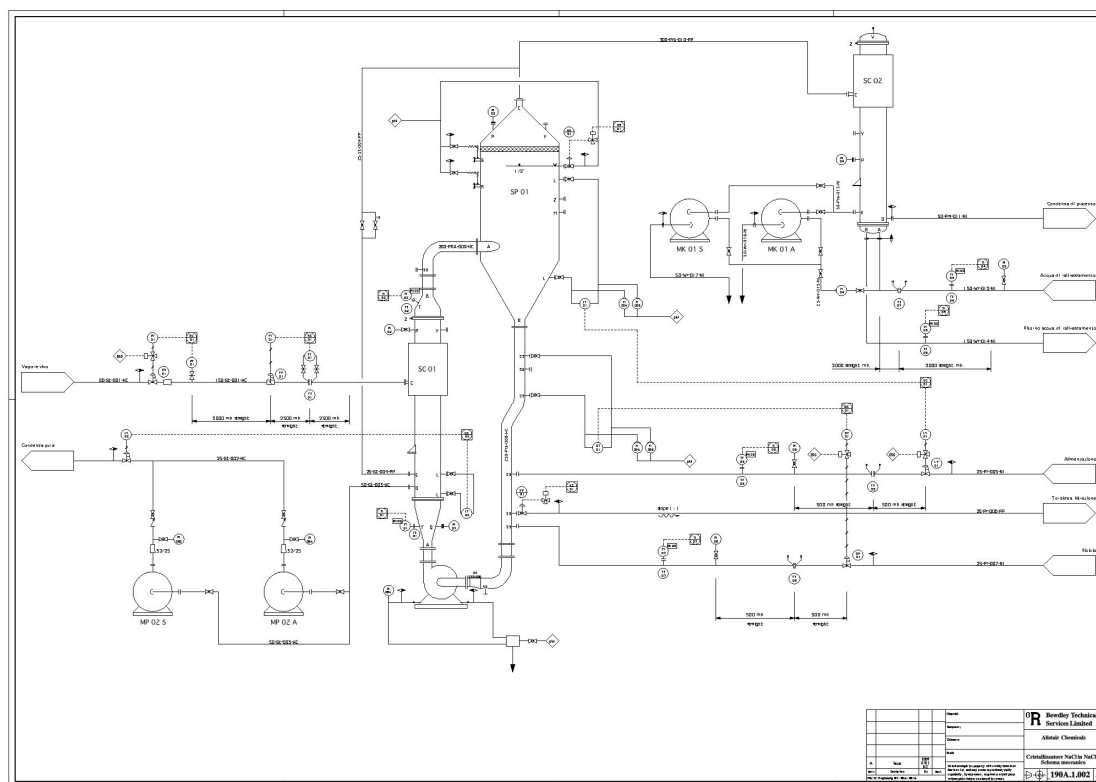


Figura 10.5: Diagrama P&ID. Fuente: Wikipedia.

- Todas las válvulas y sus identificaciones.
- Proceso de tuberías, el tamaño y la identificación.
- Miscelánea - las rejillas de ventilación, desagües, instalaciones especiales, de muestreo, reductores.
- Permanente puesta en marcha y el vaciado de las líneas.
- Flujo de direcciones Interconexiones referencias.
- Control de entradas y salidas, sistemas de Interfaces para la clase de cambios.
- Sistema de control de entrada de ordenador.
- Identificación de los componentes y subsistemas entregados por otros.

La referencia para la designación de cualquier equipo en sistemas industriales es la norma IEC 61346 (Sistemas industriales, instalaciones y equipos y productos industriales - Estructuración de los principios y las denominaciones de referencia), que establece referencias para la designación de equipos, unidades de medida y simbología:

Primera letra	Medición
D	Densidad
E	Electricidad
F	Caudal

Primera letra	Medición
H	Operario
J	Potencia
K	Jornada, Calendario
L	Nivel
M	Humedad
P	Presión
Q	Calidad
R	Radiación
S	Velocidad, Frecuencia
T	Temperatura
V	Viscosidad
W	Peso

A continuación se enumeran algunos símbolos de los aparatos y el instrumental utilizados normalmente en un P&ID, según la norma DIN 30600 e ISO 14617 (*cortesía de wikipedia*).

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Tubería		Tubería térmicamente aislada		Tubería con camisa		Tubería calorifugada o refrigerada
	Depósito mezclador con camisa		Depósito mezclador con media tubería		Depósito a presión horizontal		Depósito a presión vertical
	Bomba hidráulica		Bomba de vacío o compresor		Bolsa		Tanque de gas
	Ventilador		Ventilador axial		Ventilador Radial		Secadora
	Columna de relleno		Columna de bandejas		Horno metalúrgico		Cooling tower
	Intercambiador de calor		Intercambiador de calor		Enfriador		Intercambiador de placas
	Intercambiador de doble tubo		Intercambiador de haz de tubos		Intercambiador en forma de U		Intercambiador en espiral
	Purga de gas cubierta		Purga de gas en curva		Filtro de partículas		Embudo
	Purgador de vapor		Mirilla de vidrio		Válvula reductora de presión		Tubería flexible

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Válvula		Válvula telemandada		Válvula manual		Válvula antirretorno
	Válvula de aguja		Válvula de mariposa		Válvula de diafragma		Válvula de bola

La identificación y designación de referencia.

En el P&ID podemos encontrar una representación esquemática de todos los equipos de proceso, como torres, depósitos, intercambiadores de calor, calentadores, bombas, compresores, agitadores, etc., con sus números de las marcas de equipos (*TAG*). Al igual que la instrumentación, la representación de algunos de los equipos mecánicos, tales como compresores puede ser de la representación simplificada.

Todos los procesos y la utilidad de interconexión de tuberías de tamaños, números de línea, clases de tuberías, y los códigos de servicio (líquido), se pueden encontrar en el P&ID.

Además de todo lo mencionado anteriormente, el P&ID también muestra elementos y válvulas de retención, componentes de tuberías (trampas, filtros, etc.). Los cambios de especificaciones en las tuberías también se muestran en P&ID ya que este es un tema muy importante, que significa que la tubería ha cambiado de clase (de clase 300 a la clase 150, o tal vez CS de aleación).

Otra cosa que se encontrará en el P&ID son los límites en torno a las unidades paquete¹ de los proveedores, si bien esa información puede incorporarse más adelante en el proyecto, cuando se reciba la documentación del proveedor. Esto también es importante porque no se pueden emitir como señales de entrada y de salida desde o hacia unidades paquete de proveedor o instrumentos equipados con el DCS o SIS. Estos instrumentos, en caso de que sean proporcionados por el fabricante de la unidad paquete, no deberán ser adquiridos de nuevo. También podría ser marcada y designada como instrumentos proporcionados por el fabricante del equipo, aunque se envíe por separado para ser montado en la tubería externa al paquete. Los acuerdos entre tuberías, equipos e instrumentos nuevos y existentes también se deben mostrar en el P&ID.

Este esquema también muestra la instrumentación y controles, tales como unidades de control mediante *burbuja* como DCS, SIS, y los dispositivos PLC. Por lo general, una L (baja), LL (Bajo Bajo), H (alta), o HH (Alto Alto) situado fuera de y adyacente a la burbuja DCS indican una alarma de DCS.

El P&ID también debe mostrar los instrumentos de campo, incluyendo los dispositivos de montaje en panel, analizadores, elementos de flujo y válvulas de control. Esto incluye el diagrama que representa el cableado de instrumentos, señales neumáticas, enlaces de datos, tubería capilar y enclavamientos lógicos. También muestra la instrumentación del vapor o calor y el trazado eléctrico, ubicación de los paneles para los equipos de campo, instrumentos de aire comprimido a las válvulas de solenoide para válvulas on-off, e incluso señala para describir los requisitos especiales sobre los instrumentos.

Por último, pero no menos importante, el P&ID también debe mostrar los detalles típicos de instrumentos cuyas conexiones y líneas de impulsión que requieren limpieza para prevenir la obstrucción de las partículas sólidas en el líquido, y también una lista de los números Tag requiere este detalle.

Sí, como se ha indicado antes, es como un *Biblia*, que muestra muchas cosas necesarias. Pero, ahora que sabemos lo que realmente es un P&ID. Ahora bien la pregunta es ¿cómo se debe leer?.

¹La unidad paquete es un suministro integrado y funcional en el que el suministrador es responsable integral, tanto del suministro como de su instalación y puesta en servicio.

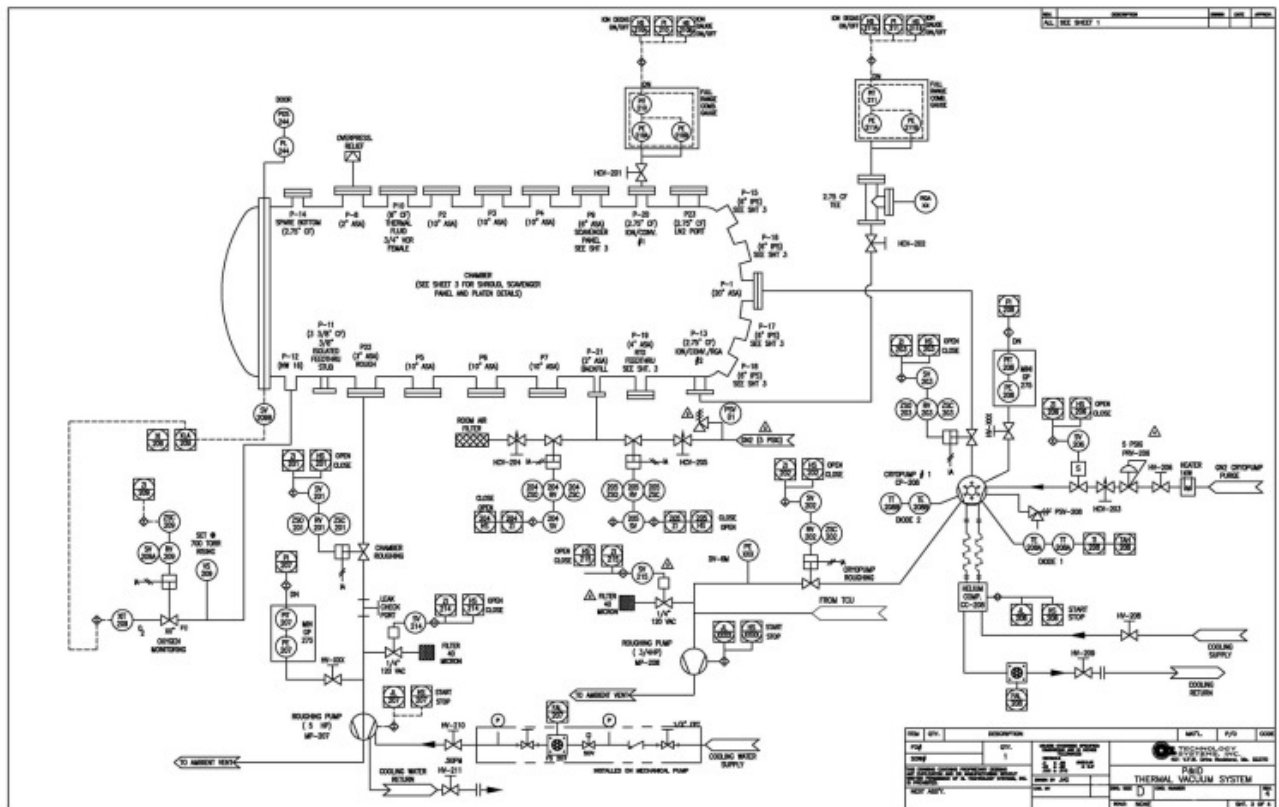


Figura 10.6: P&ID ligeramente más complejo. (Cortesía de <http://ardnas20.wordpress.com/>)

En los P&ID se utiliza cierta normalización para la identificación de la instrumentación en el proceso. Las letras de identificación para las mediciones se basan en la norma S5.1 y la norma ISO 14617-6 (1984 y 1992).

Además de la combinación de letras, es común añadir un número que permita una identificación única de cada instrumento real. La práctica de numeración varía: algunos utilizan un número secuencial, otros utilizan una serie en relación con el número de línea de proceso o similar.

Primera Letra de la Identificación

La primera letra indica una magnitud de medida o fundamental o derivada, como corriente (I), velocidad (S) o caudal (F).

Variable Primaria

- A - Análisis
- B - quemador, combustión
- C - la elección del usuario
- D - la elección del usuario
- E - Voltaje
- F - Caudal
- G - Elección del usuario
- H - Mano
- I - corriente (eléctrica)
- J - Power
- K - Tiempo, calendario
- L - Nivel
- M - Elección de usuario
- N - Elección de usuario
- O - Elección de usuario
- P - Presión de vacío
- Q - Cantidad
- R - Radiación
- S - velocidad, frecuencia

T - Temperatura
 U - Multivariable
 V - vibración, análisis mecánicos
 W - Peso, fuerza
 X - Sin clasificar
 Y - Evento, estatal o presencia
 Z - Posición, dimensión

Modificador

D - Diferencial
 F - ración (fracción)
 J - Scan
 K - velocidad de variación
 M - momentáneo
 Q - Integración, totalizador
 S - Seguridad
 X - X-eje
 Y - Y-eje
 Z - Z-eje

Segunda o siguientes Letras de la Identificación

En segundo lugar o siguientes letras indican una lectura o una función pasiva, la función de salida o una función de modificador.

Lectura o función pasiva

A - Alarma
 B - la elección del usuario
 E - El sensor (elemento principal)
 G - Vidrio, un dispositivo visualizador
 I - Indicación
 L - Light
 N - Elección de usuario
 O - orificio, restricción
 P - punto (conexión de prueba)
 R - Registrador
 U - Multifunción
 W - Bueno
 X - Sin clasificar

Función de salida

B - la elección del usuario
 C - Control
 K - Estación de control
 N - Elección de usuario
 S - conmutador
 T - Transmitir
 U - Multifunción
 V - Válvula compuerta, compuerta
 X - Sin clasificar
 Y - Relay, calcular, convertir
 Z - Conductor, actuador

Función Modificador

B - la elección del usuario
 H - High
 L - Bajo
 M - medio, intermedio
 N - Elección de usuario
 U - Multifunción
 X - Sin clasificar

Ejemplos - códigos de P & ID

Caudalímetro: FI 001.
 Transmisor de Temperatura: TT 001.
 Válvula de control: FV 001.
 Interruptor de posición: ZSH 001.

Respecto de la ubicación de los instrumentos, la presencia o ausencia de una línea determina la ubicación de los mismos.

Instrumentation and Control Symbols				
Where→ What↓	In the Field Locally Mounted	On a Main Panel or Screen	On a Subpanel Or Remote Location	Inaccessible, Hidden or Back/Inside Panel
Instruments & Devices	 ★★★★★	 ★★★★★	 ★★★★	 ★★★
Graphics on a Computer Screen	 ★	 ★★★★★	 ★★★★	 ★★★
Computer Functions (Seldom Used)	 ★	I Removed These! The symbols that would normally go here do not provide any real clarity on P&IDs in my opinion. The limited use of the two at left can be adorned, as needed, to refer to specific computers and/or PLCs functions. The functional description will help clarify computer functions and control logic.		
PLC/DCS Functions (Seldom Used)	 ★			
Star Rating		"Bob's Review" Notes		
★★★★★		Most commonly used symbols, always present!		
★★★★		Used in most cases, maybe not all.		
★★★		Used from time to time, but will be absent sometimes.		
★★		Not usually needed unless there is a good reason.		
★		You can avoid using this symbol most of the time.		

Figura 10.7: Representación para la ubicación de dispositivos. (cortesía de <http://chenected.aiche.org/>)

Algunos dispositivos físicos forman parte de un sistema de control distribuido donde un controlador o indicador específico se pueden seleccionar a partir de muchos otros para ser mostrado en un solo lugar, lo que suele representarse según se indica en la Figura 10.5.

También para completar la simbología se debe indicar que las diferentes tipologías de conductos tienen su propia terminología, como se indica en la Figura 10.8.

A pesar de los grandes avances en la tecnología informática y los protocolos de comunicación, muchos instrumentos aún transmiten sus señales mediante una señal analógica de confianza (a través de una 4-20mA, 24V). Para los dispositivos de conmutación, la entrada es típicamente un interruptor que simplemente proporciona una entrada de voltaje.

Si bien no es una práctica común para mostrar el tipo de señal de un dispositivo en particular envía y / o recibe desde el sistema de control (denominados colectivamente como la E/S), se pueden emplear simples símbolos triangulares a lo largo de la interconexión líneas para ayudar a ilustrar el flujo de I/O (si se quiere) en un P&ID. Esto se ilustra mediante los símbolos que se muestran en la siguiente figura.

El punto importante a recordar con estos símbolos es que el flujo de I/O es siempre desde la perspectiva del equipo de control. Por lo tanto, todas las salidas (DO, AO) salen de un módulo de salida e ir a algún dispositivo de campo. Por el contrario, todas las entradas (DI, AI) son señales de los dispositivos de campo que desembocan en algún módulo de entrada.

A veces se utilizan otros tipos de E/S que puede requerir tarjetas transductoras especializadas o protocolos de red. Por ejemplo, la señal de KT es un tipo común de señal que utiliza un termopar. También es posible que haya oído hablar de los sensores de temperatura RTD. Hay una gran variedad de protocolos de transmisión utilizados en la actualidad y que los ingenieros de proceso, nosotros no tenemos que quedar atrapado en eso.

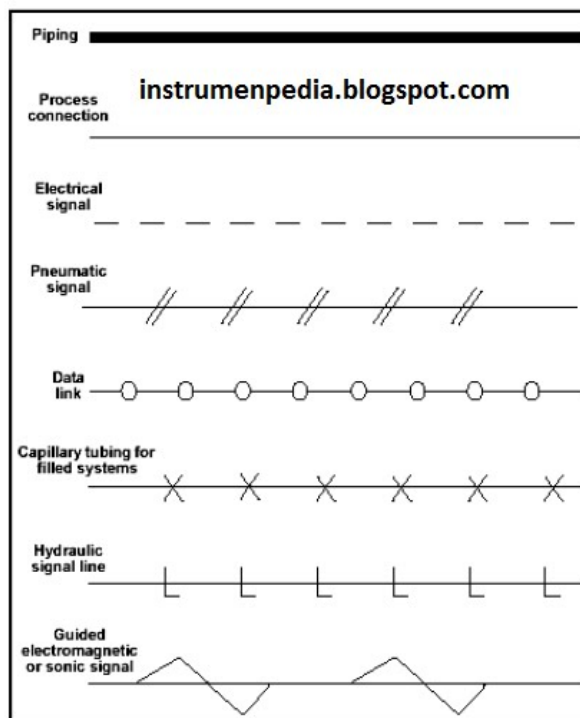


Figura 10.8: Simbología para los conductos. (cortesía de instrumentpedia.blogspot.com)

TYPICAL I/O SYMBMOLS

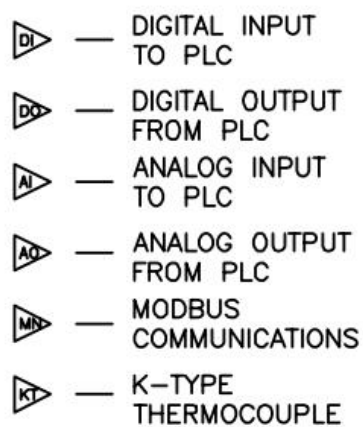


Figura 10.9: Ejemplos de líneas de interconexión.

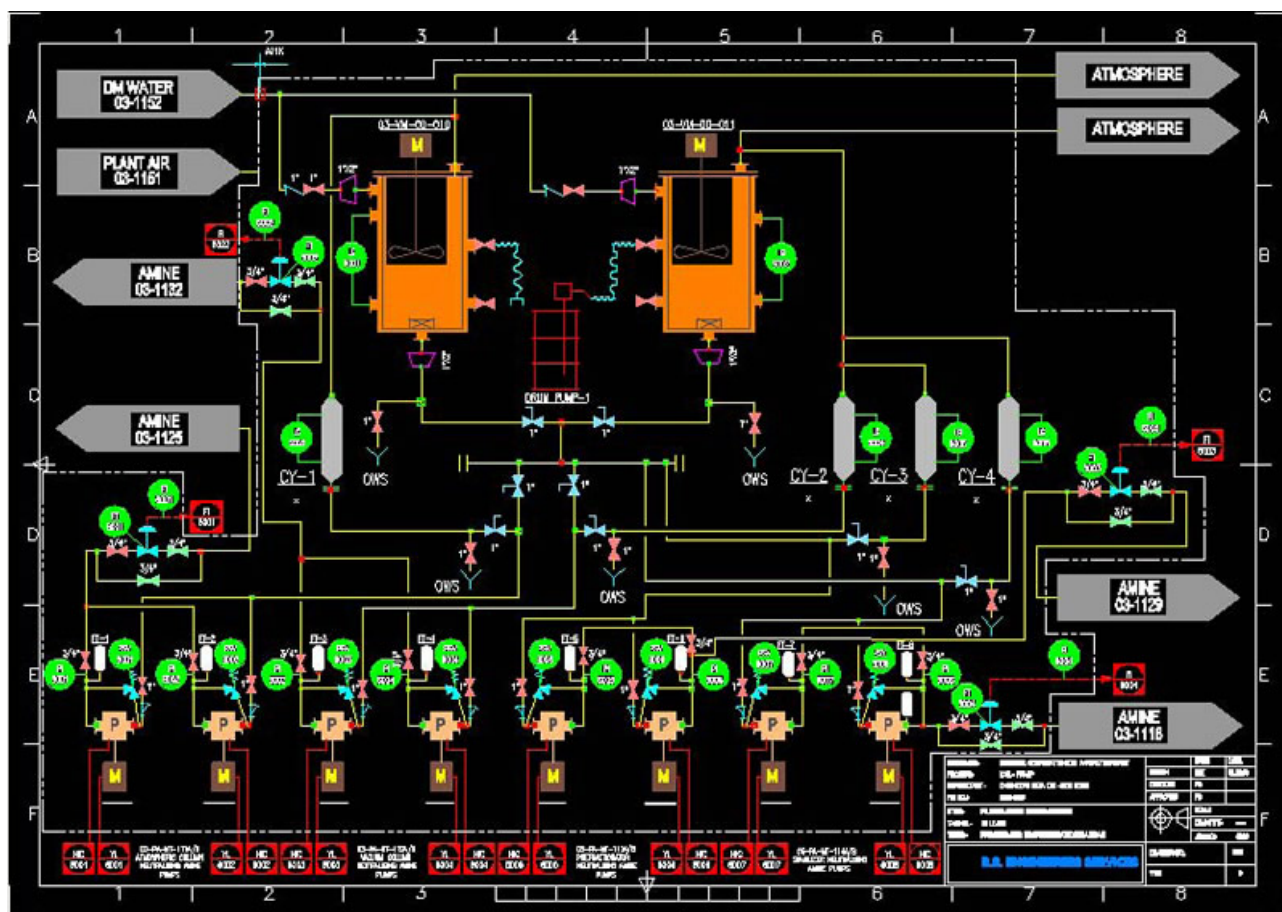


Figura 10.10: Ejemplo de P&ID con representación coloreada. (Cortesía de <http://www.rsassociatesind.com/>)

A veces se emplean códigos de color u otras estrategias([1]) para representar las diferentes líneas que componen el proceso, como se muestra en la Figura 10.10.

Herramientas de ayuda para realizar P&ID

En el campo de las herramientas que ayuden al ingeniero de proceso ecisten algunas herramientas típicamente orientadas a realizar los P&ID, como:

- Smartdraw (<http://www.smartdraw.com/>)
- P&ID Diagram (<http://www.engineeringtoolbox.com/>)
- Lucidchart (<https://www.lucidchart.com/>)
- Visio
- Edraw (<http://www.edrawsoft.com/>)
- Cadmatic (<http://www.cadmatic.com/>)
- Cadpipe (<http://www.cadpipe.com/>)
- Cadteam (<http://www.cadteam.nl/>)
- Cadworkx (<http://www.cadworx.com/> from Intergraph)
- Procad (<http://www.procad.com/>)

Pero el trabajo no termina con el P&ID, sino que, en realidad este es el principio del proyecto de planta. Esos esquemas requerirán que se desarrollen los isométricos de tubería, que se posicionen llaves, dispositivos y equipos. Precisamente para mantener el sincronismo entre el P&ID y el resto de información gráfica a generar han proliferado herramientas 'integradas' como:

- Plant3D (<http://www.autodesk.com>)
- SmartPlan (<http://www.bentley.com>)

10.5.5 Redacción de especificaciones de equipos

A partir de los datos del diagrama de tuberías e instrumentación, el «Departamento de Mecánica» puede especificar tanto el equipo normalizado como el de fabricación especial.

10.5.6 Diagramas eléctricos

El «Departamento de Electricidad», conocidos los consumos y potencias asignados a cada elemento con accionamiento eléctrico, establecerá un primer reparto de cargas y el consiguiente diagrama unifilar.

10.5.7 Planos de implantación

El Departamento de Tuberías, a partir del diagrama de tuberías e instrumentación y con el criterio de minimizar costes, establecerá el plano de situación de todos y cada uno de los equipos, para posteriormente desarrollar todos los planos de las tuberías de conexión.

10.6 Información de proceso

Cuando, como es habitual, se compra la licencia para utilizar un proceso determinado habría que añadir, desde un punto de vista práctico, que el suministrador no solo debe proporcionar los diagramas de ingeniería e instrumentación, sino también las hojas de datos de los equipos principales.

Frecuentemente lo que se conoce como «*Process Book*», «*Black Book*», «*Process Package*», contiene no solo los diagramas de tuberías e instrumentación, las hojas de datos y los diagramas de flujo, sino que suele incluirse también[3]:

- Un plano de implantación preliminar.
- Un diagrama unifilar y lista de motores.
- Especificaciones completas de todos los equipos e instrumentos, incluidos lazos de control.
- Información particular sobre características específicas del proceso en cuestión.

El contenido de este «paquete» suele variar según el suministrador, el tipo de proceso y el carácter de la licencia.

Es conveniente ***aclarar muy bien su alcance*** ya que es frecuente que pretendan vender como “extra” algo que debería estar incluido en el libro de proceso.

Algunos licenciarios, cuando se trata de procesos muy estudiados y frecuentes, suelen, por un coste mínimo, proporcionar información suplementaria sobre edificios, cimentaciones y estructuras necesarios para

la planta. Esta documentación, si bien no suele ser directamente aplicable, puede ser de gran ayuda para la ingeniería de detalle.

Finalmente hay que insistir en que, aunque el proceso se pueda comprar, ***es necesario que la Empresa de Ingeniería tenga personal preparado para su análisis, estudio y comprobación.*** Esto es debido a que es frecuente detectar errores e incluso, ya desde el estudio del proceso, es necesario introducir cambios que por las características del usuario y de su entorno pueden facilitar la operación.

Frecuentemente toda esta información suele ir acompañada de la prestación de algún ingeniero del licenciante que facilita su interpretación y colabora en su adaptación a las necesidades específicas del proyecto.

10.7 Conclusiones

10.7.1 Puntos tratados

En esta lección se han expuesto los mecanismos de desarrollo del proceso, desde el balance de masa y energía a los diagramas de flujo y a los diagramas de tuberías e instrumentación, con especial énfasis en la representación, nomenclatura y la interpretación de los mismos. Como resumen podemos citar los ejemplos:

Abreviatura	Nombre largo	Función
FC	Controlador de Flujo	Medida y control de flujo
LC	Controlador de Nivel	Control de nivel
FE	Elemento de Flujo	Sensor de Flujo
LG	Sensor de Nivel	Medida de nivel
FIC	Indicador y Controlador de Nivel	Indicando flujo así como el control del flujo
LA	Nivel de Alarma	Indicador de alarma
FR	Registrador de Flujo	Registro de Flujo
LAH	Alarma nivel alto	Indicador de nivel alto
FRC	Registrador y Controlador de Flujo	Controlador y registrador de flujo
LAHH	Nivel extremo de alarma	Indicador de alarma
FT	Transmisor de Flujo	Chivato de Flujo
LAL	Alarma de Nivel bajo	Indicador de nivel inferior
FA	Alarma de Flujo	Indicador de alarma de flujo
LI	Indicador de nivel	Indicación de nivel
LIC	Indicador y controlador de nivel	indicar y controlar el nivel
PC	Controlador de presión	Control de presión
TI	Indicador de Temperatura	Medida de temperatura
PIC	Indicador y controlador de presión	Medida y control de presión
TIC	Indicador y controlador de temperatura	Medida y control de temperatura
PR	Registrador de Presión	Registro de presión
TR	Registrador de Temperatura	Registro de temperatura
PRC	Registrador y controlador de Presión	Registro y control de presión
TRC	Registrador y controlador de Temperatura	Registro y control de temperatura

Abreviatura	Nombre largo	Función
PSV	Valvula de presión de seguridad	Liberación de exceso de presión
TT	Transmisor de temperatura	Transmitiendo las medidas de temperatura
PT	Transmisor de presión	Transmitiendo las medidas de presión
TY	Transtuctor de temperatura	Convertir la señal eléctrica de temperatura a señal neumática.
ZI	Indicador de posición	Indica si una llave está abierta o cerrada
ZSC	Indicador de llave cerrada	Indica si la llave está cerrada

10.7.2 Preguntas abiertas

Imagine que recibe el encargo de representar en un P&ID un esquema de alimentación de dos líquidos a un tanque agitador que lleva un indicador y controlador de presión y temperatura. El mezclado resulta exotérmico y el calor debe ser evacuado a través de un sistema de agua de refrigeración con un intercambiador de calor. El esquema debe ser lo más completo que se le ocurra.

10.7.3 Lecturas recomendadas

La presente lección sigue principalmente la línea marcada por las referencias [3] y [5].

Referencias

- [1] AIChE. Plant operations.
- [2] COUGHANOWR, D. R. *Process systems Analysis and Control*. McGraw Hill, 1991.
- [3] DE COS CASTILLO, M. *Teoría del proyecto. Volumen II: Ingeniería de Proyectos/Project Engineering*. Ed. Síntesis, Madrid, 1997.
- [4] LUYBEN, W. L. *Process Modelling Simulation and Control for Chemical Engineers*. Mc-Graw Hill, 1990.
- [5] MARTÍNEZ DE PISÓN ASCACIBAR, F. J., ORDIERES MERÉ, J. B., CASTEJÓN LIMAS, M., DE COS JUEZ, F. J., VERGARA GONZÁLEZ, E. P., AND ALBA ELÍAS, F. *La oficina técnica y los proyectos industriales*. Coeditado por el Servicio de publicaciones de la Universidad de La Rioja y AEIPRO, 2001.
- [6] STEPHANOPOULOS, G. *Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice*, vol. 1. Prentice Hall, 1984.