

## TEMA 3: TÉCNICAS COMUNES DE P+L

### 3.1 Las Producciones más Limpias

Las Producciones más Limpias son un proceso sistemático enfocado a la eliminación de desperdicios en la producción de bienes o servicios, incluyendo la reducción y, eventualmente, la eliminación de los desperdicios en el origen, más que el tratamiento de los residuos al final del proceso de producción.

#### 3.1.1 Evaluación e implementación

Estos son los dos aspectos fundamentales que constituyen el método de las Producciones más Limpias.

**Evaluación de las producciones más limpias (EP+L):** Es el proceso de recolección de los datos e información requeridas para identificar posibles mejoras del proceso, enfocadas a la reducción de los desperdicios en una empresa y para la preparación de los planes para ejecutar esas mejoras.

**Implementación de las producciones más limpias:** Es la aplicación y el accionar de los planes de mejoramiento dentro de la empresa.

Algunas de las técnicas para la implementación de las P+L son comunes a un gran número de procesos de fabricación y se pueden aplicar en la mayoría de las instalaciones sin grandes variaciones. Otras son propias del sector de la industria o el producto fabricado y, aunque incluyen una parte genérica, requieren una especificación, como mínimo en el ámbito sectorial.

En el primer grupo se pueden incluir las mejoras en la gestión de las compras y el control de inventarios y almacenes, en los movimientos de mercancías, en los procedimientos de operación y mantenimiento.

Como cambios más específicos del tipo de fabricación se pueden incluir los de materias primas y auxiliares empleadas en el proceso, los equipos y tecnologías, la segregación de corrientes, la reducción de volúmenes de residuos, la recuperación interna o externa de materias, la gestión del agua y la gestión de la energía.

### 3.2 Técnicas comunes de P+L

#### 3.2.1 Gestión de aprovisionamientos: compras e inventarios

La gestión de aprovisionamientos, en la cual se incluyen las actividades de compras de materiales y la gestión de los inventarios, ofrece posibilidades de reducción de residuos que, en general, no requieren ninguna inversión o una inversión mínima. Una buena gestión de los aprovisionamientos puede reducir las cantidades de sustancias y/o de embalajes que de otra forma acabarían como residuo. También se puede reducir el riesgo total por toxicidad asociado a productos caducados o contenedores contaminados por sustancias tóxicas que hay que eliminar. Las técnicas indicadas se pueden aplicar en cualquier empresa, independientemente de su tamaño.

#### 3.2.2 Compras de materiales

El personal de aprovisionamiento debe participar desde su inicio en los programas internos de formación en P+L. No se debe caer en el error de creer que la P+L sólo tiene que ver con las instalaciones de fabricación.

Por la relación que existe entre comprador y suministrador las comunicaciones entre ambos han de ir más allá de una simple transferencia de pedidos y materiales. El comprador puede hacer extensivo su programa de P+L a los suministradores con sus especificaciones y cláusulas de compra, preferiblemente integrándolo en su programa y contribuyendo a su educación con buenos argumentos.

**Algunas recomendaciones para tener en cuenta en la gestión de compras son:**

- Utilizar hojas de datos de materiales con información lo más completa posible sobre todos los materiales antes de su adopción, incluyendo los riesgos de todo tipo, para el ambiente, los operarios o el entorno, y los requisitos especiales de almacenaje, manejo y uso.
- Establecer criterios de compra que reflejen las características de las hojas de datos y las relaciones con los proveedores.
- Hacer compras limitadas a las necesidades presentes, teniendo en cuenta las fechas de caducidad.
- Reducir al mínimo el número de productos destinado a los mismos usos.
- Las compras en grandes cantidades suelen ser más económicas a granel, con el almacenaje y transporte hechos en los recipientes más adecuados, pero los productos de bajo consumo o de corta vida deben hacerse en bidones u otro embalaje de menor calibre.
- Siempre que sea posible se deben adquirir productos reusables, remanufacturados o reparables.
- Especificar en los contratos cláusulas de compra que permitan la devolución de productos que mantengan la especificación, que incluyan la recuperación o reparación de materiales obsoletos o que obliguen a empresas de servicios y mantenimiento a utilizar materiales aceptables.
- Acordar con los suministradores la devolución de muestras de productos no utilizadas.

**Aplicar opciones para reducir embalajes, como por ejemplo:**

- Hacer el máximo uso de embalajes reutilizables o reciclables o hechos a partir de que incorporen materiales reciclados
- Llevar un control de la cantidad de embalaje utilizado por unidad de producción.
- Utilizar símbolos adecuados que faciliten el reciclaje
- Evitar el uso de embalajes que contengan sustancias que destruyan la capa de ozono, papeles blanqueados con cloro o componentes de la impresión, o que lleven metales pesados o productos orgánicos persistentes

### **3.2.3 Gestión de inventarios.**

La gestión de los almacenes de materias, sean materias primas, auxiliares, intermedias o productos de fabricación, es un área de actuación donde tampoco se requieren inversiones para lograr una P+L y en la que, se pueden lograr ahorros inmediatos, además de los beneficios propios de evitar pérdidas en forma de residuos que habría que gestionar adecuadamente. Una buena gestión puede reducir el volumen de los inventarios y, por tanto, la inversión necesaria, así como el área destinada al almacenaje. Una buena gestión de los inventarios debe evitar almacenajes innecesarios, preservar la caducidad de las materias almacenadas, rechazar la aceptación de materias fuera de especificación o mantener materias que ya no se usan o son innecesarias.

A menos almacenaje, menos posibilidades de incidencias como vertidos o fugas derivados de manipulaciones secundarias o el envejecimiento de embalajes.

**Las recomendaciones específicas que se deben observar son las siguientes:**

- Disponer de un sistema centralizado de compra y almacenaje.
- Llevar un registro adecuado de las existencias y movimientos.
- Aplicar sistemas FIFO (first in-first out) que aseguren la utilización preferente de las materias más antiguas y evitar su caducidad.
- Almacenar en condiciones adecuadas de temperatura, humedad, humedad, etc.
- En caso de acumularse excesos de materias, negociar su retorno al suministrador o el intercambio por materias nuevas.
- Minimizar las acumulaciones individuales de materias en las zonas de fabricación.

- Aplicar técnicas JIT(just-in-time) cuando sea posible. En cualquier caso, para aplicar JIT se requiere una coordinación estrecha con el suministrador de las materias.

### **3.2.4 Almacenaje y trasvases**

La gestión de almacenaje está destinada a regular las funciones que existen entre la entrada de suministros y su consumo en la producción, y entre la producción y la salida de los productos. Los suministros pueden ser de origen exterior, llegados a las instalaciones mediante un transporte iniciado en la fuente del suministro, o bien productos intermedios originados en un proceso o etapa de fabricación preliminar.

En ciertos casos, por razones estratégicas, se acumulan reservas destinadas a asegurar la alimentación del proceso durante los períodos transitorios en que se prevé que podría fallar el suministro. Tal es el caso de los almacenajes de crudo en las refinerías de petróleo, muy superiores a las necesidades de alimentación del proceso.

De forma similar, la entrega de productos puede hacerse hacia el exterior o consumirse interiormente, pero incluso en este último caso raramente se puede asegurar que la demanda de productos coincida con el ritmo de fabricación. Los procesos discontinuos, por cargas o lotes, de una misma instalación se utilizan en producir distintos productos, requieren sistemáticamente un almacenaje intermedio.

Las cantidades de producción en cada carga y el embalaje necesario se suelen determinar siguiendo criterios de tipo económico dependientes de distintos factores, pero puede ser que ignoren el factor ambiental. Por ejemplo, cuando las instalaciones multiuso precisan limpiezas intermedias de la instalación generando corrientes residuales, este factor ambiental puede influir notablemente en la decisión de qué cantidades se van a producir en cada carga.

#### **Las corrientes típicas que se originan en los almacenes son:**

- Los excedentes de compra o de fabricación para los cuales no se encuentra otra aplicación, o bien que superan el límite de caducidad para su utilización.
- Los fondos sedimentarios en depósitos como resultado de la acumulación de impurezas de mayor densidad.
- Los productos obtenidos con características fuera de especificación que sean de imposible purificación o reciclado.
- Las fugas y vertidos como consecuencia de un deficiente estado del equipo o deficiente manipulación.
- Los líquidos utilizados en la limpieza de recipientes o envases vacíos que van destinado a otro uso.
- Los recipientes y envases dañados por cualquier motivo, corrosión, accidente, etc. que deben ser desechados.
- Hay una serie de medidas que se pueden aplicar con el fin de limitar los problemas ambientales derivado de almacenajes. Algunas de las más aceptadas son las siguientes:
- Tener procedimientos estrictos de operación, mantenimiento e inspección, y aplicar las medidas previstas.
- Ofrecer una preparación adecuada a los operarios acerca de las operaciones de trasvase, de la capacidad y adecuación de cada tipo de equipo disponible (banda transportadora, manguera flexible, embudos, etc.)
- Utilizar envases, bidones, etc., reutilizables y del tamaño adecuado a las necesidades para minimizar problemas de caducidad.
- Elegir formas que permitan el máximo volumen de almacenaje con el mínimo residuo en las paredes y, si hay que realizar limpiezas frecuentes, que sean de fácil acceso (paredes lisas).
- Emplear sistemas de almacenaje solamente para el uso previsto.

- Disponer áreas de contención secundaria.
- Disponer una iluminación suficiente en las áreas de almacenaje.
- Emplear bombas de trasvase con cierres mecánicos
- Controlar las fugas en juntas, sellar válvulas que no deben ser usadas, etc.
- Mantener los suelos limpios y libres de obstáculos.
- Mantener los bidones metálicos elevados por encima del suelo para evitar corrosión por contacto con líquidos de fugas en suelos mojados. .
- Mantener los bidones cerrados excepto cuando se extraiga materia.
- Usar sistemas de recuperación de vapores en trasvases.
- Descargar los compuestos orgánicos volátiles mediante tuberías sumergidas.
- Usar sistemas adecuados de protección eléctrica y de descargas electrostáticas.
- Mantener las distancias, y aislar físicamente, entre almacenajes de sustancias incompatibles.
- Evitar el almacenaje de excesivas cantidades dentro de las áreas de proceso.
- Almacenar con medidas que minimicen las posibles roturas o accidentes, y que permitan una fácil inspección visual.
- Inspeccionar regularmente la integridad física de tanques, recipientes y envases.
- Inspeccionar periódicamente elementos de seguridad, alarmas de sobrellenado, etc.
- Vaciar bien todo recipiente antes de proceder a su limpieza.
- Seguir las instrucciones de los suministradores de equipos y de productos.
- Evitar la estratificación y separación de sustancias más pesadas hacia el fondo mediante agitadores (en ciertos casos se pueden dosificar solubilizantes / emulsificantes).
- Cuando puedan ocurrir reacciones exotérmicas potenciales de las sustancias almacenadas hay que disponer de sistema de control y regulación de la temperatura.
- En los tanques de almacenamiento donde se produzcan evaporaciones o convenga controlar la respiración por variaciones locales de presión o temperatura, hay que determinar el tipo más adecuado: techo fijo frente a techo flotante (interno o externo), de cámara variable con techo telescópico o diafragma flexible, o bien almacenaje a presión.
- Evitar la posible mezcla de sustancias incompatibles.

### **3.2.5 Procedimientos de operación y mantenimiento**

Las mejoras potenciales en la operación y mantenimiento alcanzan a las personas, a las instalaciones y a los procedimientos e instrucciones.

En el caso del personal se inicia con una buena formación y entrenamiento de los operarios en las actividades que van a realizar. Los operarios deben estar bien informados del porqué de las operaciones que realizan y de los inconvenientes que pueden presentarse en caso de no ejecutarlas correctamente. Deben comprender que estos inconvenientes pueden empezar por afectar a su propia salud e integridad física, a la comunidad más inmediata en que están integrados o incluso a través del medio ambiente afectar de un modo global a las personas y el ecoambiente. Además, deben comprender que suponen una posible repercusión económica de la que todas partes salen perjudicadas.

A menudo, los operadores no actúan en la práctica tal como sus supervisores creen que lo están haciendo o según las instrucciones escritas. Estos cambios no formalizados pueden implicar problemas de seguridad o prácticas ambientales erróneas. Muchas de las recomendaciones que se pueden hacer son, en realidad, comunes a la zona de fabricación y al área de almacenaje y trasvase por lo que pueden aplicarse conjuntamente.

El mantenimiento también desempeña un importante papel en la P+L. El mantenimiento es fuente constante de residuos en forma de aceites usados, juntas obsoletas, trapeos desechados, etc. Otras veces un mantenimiento inadecuado puede ser origen de fallos operativos que provoquen paradas

con todos sus inconvenientes económicos y ambientales o generar la fabricación de productos fuera de especificación.

No solo los almacenajes, sino también las zonas de fabricación deben contar con los sistemas adecuados de prevención de fugas y derrames, lo cual puede requerir modificaciones en los equipos y en los sistemas de contención.

Las instalaciones deben ser adecuadas para soportar incidentes de distinto tipo. Un análisis de riesgos puede dar las recomendaciones pertinentes y ser la fuente para redactar planes de respuesta a situaciones irregulares tales como un derrame importante, y en último extremo un plan de emergencia.

**Algunas de las medidas más usuales son:**

- Establecer prácticas operativas normalizadas.
- Documentar los procedimientos de proceso y actualizarlos cuando sea conveniente.
- Documentar los riesgos asociados a las operaciones.
- Documentar los parámetros de control de las operaciones
- Documentar las hojas de datos de las materias implicando algún tipo de riesgo, para los operadores incluyendo las propiedades físicas y químicas, su toxicología, la información del vendedor, etc.
- Llevar un registro de fugas, derrames, respuestas aplicadas y costos de la limpieza.
- Llevar un registro de la generación de residuos y su manipulación.
- Llevar un registro de los costos de disposición de los residuos.
- Hacer evaluaciones y medidas de las emisiones fugitivas en juntas, tapas etc.
- Registrar las soluciones aplicadas y las mejoras obtenidas en la prevención de emisiones fugitivas.
- Verificar la existencia y corrección de válvulas de seguridad, interbloqueos, etc. que afecten a la integridad física de los equipos.
- Usar procedimientos de muestreo que permitan recuperar los productos en exceso después de realizar las pruebas.
- Aplicar programas de mantenimientos preventivos o predictivos según las circunstancias.

Hay que tener en cuenta que la documentación y registro, hojas de datos, inspecciones periódicas, medidas de contención primaria y secundaria, control adecuado de las operaciones, automatización de operaciones, medidas de seguridad y alarmas, operaciones de limpieza de tanques, depósitos y equipos, etc., requieren el mismo tipo de consideraciones y, además, ciertos tipos de fabricación concentran los riesgos en la zona de transformación

### **3.3 Cambios específicos del proceso**

El grupo de cambios más específico requiere, principalmente, una determinación particular para cada proceso, lo cual requiere de una Evaluación de Producciones más Limpias más a fondo y especializada. A pesar de ello, también existe una serie de medidas de aplicación general.

Los cambios tecnológicos consiguen reducciones en el origen mediante, por ejemplo, modificaciones del proceso o mediante la instalación de equipos de procesos más eficientes. Estos cambios, en general, requieren inversiones más o menos importantes y modificaciones que oscilan desde las instrucciones de uso hasta interrupciones en la operación durante el período de cambio. En muchas ocasiones hay que realizar inversiones de capital para técnicas que mejoran la producción, lo cual puede justificarse por un incremento de la productividad en el proceso o un aumento en la calidad de los productos, asociado a la reducción de las corrientes residuales. El diseño del cambio debe hacerse pensando en todas las mejoras alcanzables y no solamente en la ambiental (cuadro 3.1).

### **Cuadro 3.1** Cambios tecnológicos

- Optimizar las reacciones y el uso de materias primas, energía y agua
- Mejorar la eficacia de los equipos de proceso
- Instalar equipos que no producen o minimizan la producción de corrientes residuales y derrames o fugas, por ejemplo:
  - instalar dobles sellos mecánicos
  - usar bombas de vacío en lugar de eyectores
  - seleccionar válvulas que minimizan las emisiones fugitivas
  - reducir al mínimo necesario el número de conexiones roscadas o embridadas
- Instalar motores eléctricos de velocidad variable
- Instalar instrumentos para muestreo y análisis en línea
- Instalar controles y automatización adicional para mejorar el monitoreo y regulación del proceso
- Instalar instrumentos y alarmas para un control ajustado de las reacciones exotérmicas y reducir los errores de operación al mínimo
- Segregar las corrientes residuales evitando mezclas de residuos inertes con residuos peligrosos

El cambio en las materias alimentadas al proceso es una de las alternativas que requieren más investigación preliminar, aunque existe una metodología de ayuda en la selección de los cambios. En general implica utilizar una sustancia nada o menos tóxica que la original. Muchas veces se necesitan estudios de laboratorio o planta piloto y ensayos del producto final antes de su aceptación (cuadro 3.2).

### **Cuadro 3.2** Cambios en las materias alimentadas al proceso

- Emplear en la alimentación materias primas de mejor calidad o pretratadas
- Emplear materias primas de nueva especificación recicladas de otros procesos
- Emplear diferente catalizador
- Emplear disolventes acuosos en lugar de orgánicos volátiles
- Emplear oxígeno puro en lugar de aire en transformaciones por oxidación/respiración
- Reemplazar baños cianurados por otros no cianurados
- Sustituir el cloro por oxígeno, peróxido de hidrógeno u ozono en procesos de blanqueado

Cuando se reformula el producto, cualquier cambio en su naturaleza se debe adaptar para conseguir la misma o una función similar que la del producto original. El producto final tendrá la ventaja de ser menos o nada tóxico y mejorar su ciclo de vida, pero también deberá contar con la aceptación del usuario.

Junto con la recirculación interna de materias no consumidas que se encuentran a la salida del proceso, existe la posibilidad de reciclar productos en otras unidades de fabricación dentro de la misma fábrica, o encontrar un usuario exterior que permita revalorizar el subproducto. Algunas corrientes pueden reutilizarse directamente en el propio proceso después de un tratamiento intermedio. Este es el caso de muchos procesos que inician la transformación con un exceso expreso de materia prima, o la recirculación de disolventes que solo intervienen como soporte de la transformación principal, pero que ellos mismos no sufren alteración.

Cuando los equipos de purificación no están disponibles, o el volumen a tratar es demasiado pequeño para justificar una inversión, se puede contratar una recuperación exterior, quizás

pactada con el mismo suministrador al hacer la compra de la materia o disolvente que haya que recuperar o regenerar.

La utilización de las bolsas de subproductos contribuye muy positivamente al proceso, pues revalorizan desechos hasta su reclasificación como subproductos, que de otro modo se convertirían en desechos que habría que disponer fuera mediante un tratamiento intermedio o enviándolos directamente al vertedero. Esta valorización encuentra su máxima eficacia cuando se realiza por integración de fabricaciones industriales con estrecha relación de subproducto / alimentación.

### **3.4 La gestión del agua**

#### **3.4.1 Introducción**

Existe cada vez más una clara conciencia de que el agua es un recurso escaso que desempeña un papel fundamental para conseguir un desarrollo sostenible. Son varias las razones para impulsar un sistema efectivo de gestión de agua en la industria, y entre ellas destacan una disponibilidad cada vez más restringida, los crecientes costos y la necesidad de cumplir con unos límites de calidad en la descarga de las aguas residuales.

Teóricamente, el agua debería considerarse como cualquier otra materia prima o disolvente utilizado en la industria. Sin embargo, razones históricas lo han impedido hasta ahora. En primer lugar, en los países industrializados, donde es abundante, el agua se ha venido considerando como un componente libremente disponible. Esta disponibilidad ha ido acompañada de:

- a) extracciones o consumos a bajos costos que se consideraban despreciables en el balance económico de la fabricación
- b) los laboratorios de investigación y desarrollo apenas han tenido en cuenta lo importante que es el agua en muchas de sus manipulaciones, y que es el medio en que se recogen muchos de los productos que no interesan al investigador
- c) al principio del desarrollo industrial las aguas residuales eran descargadas con muy poca incidencia sobre el medio receptor

A pesar del cambio en las circunstancias no ha habido en paralelo una evolución suficiente como para tomar una conciencia generalizada de la importancia del agua. Esta herencia aún se conserva hoy día en gran medida, de forma que a muchos industriales les cuesta salir de los enfoques iniciales y se sorprenden cuando se les impone un precio equitativo del agua como materia prima o se les exige respetar el medio receptor de sus aguas residuales. No obstante, la legislación que existe y se desarrolla en muchos países sobre el tema del agua, tiende a la imposición de multas por despilfarro de agua potable como una medida coercitiva prevista para su reducción.

En el cuadro 3.3 se recogen los principios de gestión del agua, válidos también en la evaluación de P+L.

#### **Cuadro 3.3 Principios de gestión de las aguas**

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>a) El agua debe ser tratada como un recurso a conservar</li><li>b) El agua debe ser descargada con unas características fisicoquímicas y biológicas tales impactos detrimentales sobre el medio ambiente, o preferiblemente que puedan ser reutilizadas</li><li>c) Los componentes críticos del agua han de ser vigilados continuamente y los resultados registrados de forma que la situación se mantenga bajo constante control</li><li>d) Hay que asignar la responsabilidad directa de la gestión del agua al jefe de cada departamento de producción</li><li>e) Hay que redefinir las condiciones óptimas de operación para cada uso individual y decidir que tipo de agua utilizar en el proceso en la totalidad de las instalaciones</li></ol> |
|---|

Los objetivos son reducir el consumo de agua en la planta de fabricación y en el sistema sanitario, y minimizar el volumen y la contaminación de las aguas residuales. Al agua también se aplican los conceptos generales de conservación de los recursos y la jerarquía de medidas para reducir los impactos ambientales:

- Reducción en el origen técnicas de conservación y recirculación interna, con o sin tratamiento intermedio
- Reciclado a otras instalaciones o reutilización de las aguas tratadas externamente para otros proceso o usos menos exigentes
- Tratamiento exterior al proceso de las aguas residuales a un nivel aceptable para el vertido

Los tratamientos de agua al final del proceso han sido la práctica más utilizada por la industria, debido a políticas ambientales e instrumentos erróneos, afortunadamente ya en vías de corrección, que promocionaban los tratamientos finales en lugar de incentivar la recuperación. En ocasiones, la conservación del agua sigue chocando con inconvenientes de tipo regulatorio, como cuando se considera solamente la limitación de la concentración de las aguas vertidas y no las cantidades totales de contaminante que lleva el agua. Para evitar los límites de concentración, los usuarios evitan ahorros de agua a fin de no sobrepasar esos límites, cuando no se hace una adición expresa de agua para diluir el efluente.

La recuperación de las aguas ha iniciado una marcha ascendente a pesar de no encontrar siempre el apoyo institucional necesario. Existe una extensa literatura orientadora de las posibilidades de reciclado y reutilización del agua.

De la misma forma que la recuperación de agua es importante, también lo es verificar que la calidad del agua recuperada es suficiente para la aplicación en que se quiere utilizar. Y al contrario, si para su recuperación se inicia un tratamiento, hay que determinar cual es su nivel necesario y analizar el impacto económico de aplicar ese tratamiento más tiempo del estrictamente requerido.

### **3.4.2 Usos industriales del agua**

El agua se usa industrialmente en multitud de aplicaciones. La calidad necesaria es muy distinta según el uso. Unas pocas aplicaciones requieren agua de alta calidad. La mayoría no exigen gran calidad, pero si la suficiente para evitar el ataque o la formación de depósitos sobre los equipos con los que está en contacto. Son las diferentes exigencias las que brindan la posibilidad de recuperación del agua y usos en cascada, utilizando progresivamente las aguas parcialmente contaminadas en aplicaciones cada vez menos exigentes. Las diferencias en la calidad exigida son también las que determinan qué sistemas de tratamiento ofrecen las condiciones suficientes para la reutilización. En el cuadro 3.4 se indican algunas de las aplicaciones más importantes del agua. En estrecha relación con los usos que se indica en el cuadro 3.4, también se investigan los orígenes de las aguas residuales, empleando el método de marcha atrás en el proceso, regresando desde el desagüe hacia el origen. Al mismo tiempo se obtiene información para determinar si es conveniente proceder a segregaciones de las corrientes en líneas diferentes. Es común encontrarse con alguno de los siguientes orígenes:

#### **a) Desde unidades de fabricación y procesos**

- Aguas que han intervenido en las reacciones y transformaciones principales
- Aguas de lavado de productos
- Aguas de lavado de recipientes y enjuagues

#### **b) Desde servicios auxiliares y operaciones de soporte**

- Purgas de calderas
- Purgas de torres de enfriamiento
- Purgas de lavado de gases
- Agua de eyectores y bombas de vacío
- Aguas residuales tratadas

- Aguas de limpieza general
- c) **Aguas de lluvia**
- Contaminadas
  - No contaminadas

### **Cuadro 3.4** Principales usos del agua en procesos industriales

<p><b>Usos en grandes volúmenes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de enfriamiento <ul style="list-style-type: none"> <li>– por contacto directo</li> <li>– en circuito abierto en cambiadores de calor y condensadores</li> <li>– los mismos usos en circuito cerrado empleando torres de enfriamiento, con lo que se reduce la posibilidad de contaminación térmica</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Usos en volúmenes moderados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios generales de la fábrica <ul style="list-style-type: none"> <li>– limpieza de equipos y componentes</li> <li>– conexiones para limpieza y mantenimiento general</li> <li>– puntos de muestreo que requieren enfriamiento o condensación</li> <li>– cierres hidráulicos</li> </ul> </li> <li>• Consumos en proceso <ul style="list-style-type: none"> <li>– uso general en proceso como reactivo o disolvente</li> <li>– como medio de transporte de sólidos</li> <li>– en el lavado de gases</li> </ul> </li> <li>• Servicios sanitarios</li> </ul> <p><b>Usos en volúmenes de orden menor</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reposición de agua de calidad <ul style="list-style-type: none"> <li>– para la alimentación de calderas</li> <li>– usos de laboratorio</li> <li>– consumo selectivo en el proceso</li> </ul> </li> <li>• Consumo de agua potable</li> <li>• Sistema de agua contra incendios ( en reposo)</li> </ul>
--

Muchas de estas aguas, en particular si han sido convenientemente segregadas, son más fáciles de adecuar para su reutilización mediante sencillos tratamientos, que tratarlas al final del proceso para descargarlas al medio acuático receptor. Hay que considerar siempre que cualquier tratamiento produce otras corrientes residuales y el impacto de estas también debe ser evaluado.

#### **3.4.3 Usos típicos de aguas reutilizadas**

La reutilización del agua no puede ser arbitraria. Las alternativas son específicas de cada planta de fabricación y las alternativas deben ser evaluadas según criterios previamente definidos. Las posibilidades son claras cuando la composición del agua contaminada es relativamente simple. Por el contrario, las alternativas pueden ser muy costosas si se quiere depurar un agua residual compleja hasta una elevada calidad.

La evaluación de la reutilización debe incluir una evaluación del posible impacto sobre los equipos con los que entrará en contacto o sobre la calidad del producto. La formación de incrustaciones, la corrosión y los crecimientos microbiológicos son algunos de los problemas más comunes que resultan de aguas reutilizadas.

Otros problemas son específicos del sector industrial de que se trate. Por ejemplo, el color del papel puede ser afectado por la presencia de hierro, manganeso o microorganismos, y la presencia de sólidos extraños en suspensión puede disminuir su calidad.

Cuando existen mezclas químicas de las sustancias contenidas en el agua hay que comprobar su compatibilidad para entrar en contacto, así como considerar la posible formación de precipitados, la separación en dos fases líquidas o la formación de gases.

#### **3.4.4 Tecnologías para recuperación de aguas**

Hay una gran cantidad de tecnologías disponibles para recuperar aguas usadas. La selección de la tecnología más apropiada es clave para una reutilización satisfactoria. Muchas corresponden a tecnologías clásicas muy experimentadas. A la hora de elegir hay que considerar los rendimientos alcanzables con cada una, los costos de todo tipo asociados a la operación, los requisitos de operación y mantenimiento, el tipo y cantidad de residuo que dejan, y la variabilidad en cantidad y calidad de las aguas a tratar.

Del agua usada hay que evaluar los contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos que lleva, la fase en que se encuentran (disueltos, en suspensión), la fase en estado puro de los componentes disueltos (gaseosa, sólida o líquida) y las concentraciones.

Unos procesos se usan para tratamientos masivos, como la decantación, la descalcificación o el tratamiento biológico, con costos relativamente bajos por metro cúbico de agua usada tratada. Otros procesos son más selectivos y de aplicación más específica. Entre ellos se puede mencionar la recompresión / evaporación usada en la concentración de aguas residuales y purgas de torres de enfriamiento; la evaporación mediante calentamiento en la recuperación de condensados y concentración de aguas; las tecnologías de membrana, ósmosis inversa y ultra filtración, usadas en la eliminación de sales iónicas y solutos orgánicos y en la recuperación de metales; la electrólisis de soluciones salinas y el arrastre por vapor en la recuperación de condensados y otras aguas contaminadas, por ejemplo, con sulfuro de hidrógeno, amoníaco y sustancias orgánicas volátiles. La Ley General de Agua Potable prohíbe hacer uso indebido o desperdicio de agua potable por las cañerías de cualquier localidad del país, estableciendo una multa para ello.

#### **3.4.5 Objetivos de descarga cero**

Puede ocurrir que los límites de calidad impuestos a las descargas de agua a corrientes superficiales sean más restrictivos que los necesarios para recuperar las aguas y reutilizarlas en el interior de la propia planta. En tales casos es más económico alcanzar un nivel de recirculación total calificado como descarga cero. La existencia de tecnologías que permiten alcanzar elevados grados de pureza, en general a partir de aguas a las cuales se ha aplicado un tratamiento preliminar, ha abierto más posibilidades al objetivo de descarga cero.

Esta alternativa puede facilitar, además, los trámites administrativos necesarios para las autorizaciones de uso.

#### **3.4.6 Evaluaciones de la gestión del agua**

Al igual que las auditorías energéticas, el agua se puede someter a una evaluación independiente o bien ser incluida en la evaluación general. En ambos casos se requiere proceder a una serie de etapas:

##### **a) Realizar una evaluación de los usos del agua y la generación de aguas residuales:**

- Obtener datos de los suministros de agua, origen y volúmenes
- Revisar los datos de aguas residuales: caudales y volúmenes tratados, valores medio y punta, almacenamiento intermedio, origen y localización de la descarga del efluente
- Determinar las características de las corrientes: pH, temperatura, sólidos, DBO, DQO, etc.
- Determinar los candidatos para reciclado y reutilización
- Realizar los balances de agua

- Verificar las pérdidas por infiltración o evaporación
- Obtener datos económicos de costos de los tratamientos y los suministros
- b) Realizar la evaluación técnica de las modificaciones de proceso y cambios operacionales necesarios.** Algunos ejemplos de oportunidades en la conservación de agua en proceso y servicios, hoy día abundante por la disponibilidad de tecnologías apropiadas, son:
  - Situar restricciones de flujo
  - Automatizar el control de flujo
  - Pasar a refrigeración por aire en lugar de por agua
  - Emplear filtros en lugar de lavados con lluvia de agua para retener partículas en corrientes gaseosas
  - Usar limpiezas con agua a presión en lugar de tanques de inmersión
  - Usar sistemas a contracorriente o en cascada para enjuagues
  - Tomar medidas de la conductividad antes de la descarga
  - Hacer de la recuperación del contaminante más valioso una forma indirecta de recuperación de agua

En el sistema de aguas sanitarias se puede proceder, por ejemplo, a:

- Instalar sistemas de cierre automático en las fuentes
- Usar limitadores de caudal en las duchas
- Limitar los caudales de las descargas de agua de los retretes
- c) Determinar las oportunidades de recirculación y reciclado y realizar las evaluaciones técnicas pertinentes.** El potencial de reutilización depende de la cantidad y calidad de las fuentes y los consumos. Además, hay que tener presente:
  - La existencia actual o probable de una legislación y reglamentos que limiten las posibilidades de reutilización
  - Tener bien identificados y caracterizados las demandas potenciales de agua recuperada
  - La capacidad de tratamiento con los requisitos y costos asociados para conseguir un agua recuperada suficientemente limpia y disponible para ser utilizada en las aplicaciones previstas
  - Las necesidades suplementarias de almacenaje intermedio para equilibrar las fluctuaciones entre demanda y disponibilidad
  - Todos los equipos y materiales suplementarios necesarios para operar el sistema
  - Si existe algún nuevo impacto ambiental nuevo como consecuencia de los tratamientos
  - Un análisis económico que compare los costos presentes y futuros

### **3.5 Gestión de la energía**

#### **3.5.1 Introducción**

En la década de los setenta, el precio de la energía creció mucho más rápidamente que el precio de los equipos industriales, entre cinco y diez veces más aprisa. El resultado fue un nuevo marco económico en el que se abrieron muchas oportunidades para introducir mejoras en la conservación y eficiencia energética. Durante este período de altos costos de la energía se consiguieron avances significativos justificados por los beneficios económicos asociados a los ahorros energéticos. Esta situación duró pocos años. Después, los crecimientos relativos de los precios se invirtieron, y los bienes de capital volvieron a ganar peso en los costos de producción. Aunque las posibilidades de mejoras adicionales en conservación y eficiencia energética seguían existiendo, las inversiones pasaron a ser de difícil justificación, y el interés por mejorar la gestión energética fue cada vez más limitado

La probabilidad de un cambio climático asociado al efecto invernadero, causado principalmente por el dióxido de carbono que se emite por el uso energético de los combustibles fósiles ha renovado el interés por la conservación y eficiencia energética. La divulgación de los potenciales efectos del cambio climático ha dado el soporte social necesario para la aplicación del principio

precautorio. Este requiere la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y volver a aplicar intensamente los conceptos de conservación y eficiencia energética, así como el uso creciente de las energías renovables. Las mejoras energéticas han encontrado un renovado interés, a raíz primero de una Convención Marco del Cambio Climático y posteriormente por el Protocolo de Kyoto.

En los años que siguieron al incremento del costo de la energía se consiguieron mejoras en la eficiencia del orden del 25% aplicando criterios estrictos de rentabilidad. Los sectores que más se preocuparon por mejorar la eficiencia fueron los grandes consumidores, petróleo, química, metales primarios, pulpa y papel, materiales de construcción y vidrio. En términos absolutos, el interés sigue centrado en estos mismos sectores, no obstante, los beneficios relativos son igualmente interesantes para cualquier actividad industrial que consuma una elevada proporción de energía en su proceso de fabricación.

### **3.5.2 Sistemas energéticos**

En las plantas industriales, la energía se utiliza de formas distintas y en equipos muy variados. La energía eléctrica y la calorífica tienen un tratamiento y unas aplicaciones diferentes. La aplicación del calor se realiza mediante sistemas que lo transportan de formas diferentes, como agua caliente, vapores a distintas presiones, aceites térmicos, pero también mediante artilugios específicos.

En los sistemas energéticos cabe distinguir:

- Entradas de energía en sus distintas formas (fuel, electricidad, vapor, renovables, etc.)
- Transformaciones interiores de unas formas de energía a otras
- Sistemas de distribución para hacer llegar la energía a los puntos de consumo
- Puntos de utilización con los distintos usos a que se destina
- Recuperaciones energéticas
- Salidas o pérdidas energéticas

Cuando se diseñan instalaciones nuevas, la composición del sistema energético se decide en la etapa inicial conceptual. El diseño tiene en cuenta la mejor relación entre inversión de capital y costos operativos, por ejemplo, hay que decidir entre invertir más en aislamiento o tener mayores costos por pérdidas energéticas, construir una conductora con una tubería mayor o tener mayores costos de bombeo. Un problema inicial bien planteado puede resolverse mediante buenas técnicas de optimización. Sin embargo, el precio relativo de la energía está sometido en el tiempo a tendencias variables que son diferentes de la tendencia que pueden seguir la inversión inicial en la instalación. Un sistema energético diseñado óptimamente para unas condiciones determinadas puede pasar a ser económicamente incorrecto en otras condiciones.

En una planta existente se dispone de datos reales contrastados, pero no siempre es fácil cambiar su estructura física para modificar la relación de costos de capital a costos operativos y acercarse a las condiciones económicamente óptimas del presente.

### **3.5.3 Programa de gestión energética**

Como cualquier programa de P+L, el programa de gestión energética debe contar con el apoyo total de la dirección, si no ha sido una iniciativa suya.

Cada planta debe disponer de una persona que asuma las responsabilidades globales. Este responsable ha de crear una conciencia de la evaluación energética, tanto desde el punto de vista ambiental como económico; será promotor de ideas de conservación y eficiencia energética, de identificar oportunidades, del control de la realización de las opciones elegidas, de hacer un seguimiento de las mejoras y de informar a las partes interesadas.

En grandes plantas, el responsable energético puede estar asistido por un comité de composición heterogénea, mucho mejor si está coordinado por un representante de la dirección de alto nivel, quien, además, puede tener a su cargo la tarea de informar a la alta dirección. En el comité deben

estar representadas las áreas críticas de la planta, tales como producción, mantenimiento e ingeniería.

El comité debe decidir cuales objetivos sería razonable alcanzar, determinar que medidas deben seguirse para comprobar los avances conseguidos y verificar que los instrumentos estén disponibles y en buenas condiciones. También debe determinar los criterios económicos que se aplicarán y preparar un programa de ejecución.

Los operarios suelen tener un conocimiento muy valioso de la realidad de una instalación y pueden aportar excelentes ideas para ser consideradas técnicamente. Para una eficaz colaboración, el personal debe recibir preparación inicial y ser informado de lo que se espera de ellos. La dirección puede considerar si una buena gestión se compensa con algún tipo de beneficio económico, ligado a las mejoras aportadas y llevadas a cabo satisfactoriamente.

Conviene que los operarios comprendan el por qué de la evaluación energética y que también estén ampliamente informados de cuestiones tales como:

- Los consumos energéticos en sus distintas formas (gas, electricidad, vapor, etc.), preferentemente representados en forma de gráficos para períodos de tiempo determinados
- Los destinos de la energía suministrada y los costos implicados
- Listas de opciones de conservación y ahorro energético generalmente obtenidas a partir de la experiencia en otras instalaciones y/o una operación determinada
- Los problemas ambientales que genera cada tipo de operación

### **3.5.4 La auditoría energética**

La auditoría energética consta de un examen intensivo y una evaluación de todos los componentes del sistema energético, incluyendo el suministro, la conversión, la distribución, la utilización, la recuperación y las pérdidas. La auditoría se realiza en diversas fases que incluyen las siguientes actividades.

#### **3.5.4.1 Recolección de datos**

Es aconsejable comenzar por verificar si existen antecedentes de anteriores auditorías o estudios parciales realizados sobre el sistema energético. A continuación, obtener los datos de diseño que se utilizaron para construir las instalaciones y los de revisiones posteriores del proceso que ya tengan en cuenta los cambios introducidos.

Así mismo, es aconsejable obtener datos de todos los suministros, combustible, electricidad, vapor, etc. adquiridos del exterior, así como los costos y tarifas de adquisición. Conviene recoger, como mínimo, los datos de consumos de un período de un año con detalle mensual, pero también analizar las tendencias a largo plazo, así como las causas que puedan explicar cambios anormales en los consumos.

A efectos de analizar los consumos de calefacción, también se han de obtener datos meteorológicos y, en particular, determinar los grados-día para la localidad en que se encuentra la instalación.

Es mejor que las tablas de datos se complementen con gráficos, pues proyectan una visión más clara de las tendencias. Comprobar las variaciones estacionales en gráficos de mes a mes, las variaciones en los días de la semana y los consumos de un día típico en el que se reflejen los picos de consumos.

Algunas ventajas económicas se pueden conseguir analizando los datos anteriores, a base de buscar mejoras en la programación de las compras, almacenamiento, planificación de la producción para ver si es posible reducir la potencia contratada y cortar picos de electricidad; es conveniente también comparar lo que ocurre los fines de semana, etc.

#### **3.5.4.2 Análisis de los componentes**

La eficacia global de las instalaciones depende de la eficacia de los diversos componentes (calderas, intercambiadores, compresores, turbinas, motores eléctricos, etc.) y de los sistemas primarios de generación de vapor, refrigeración, etc. Para su análisis es obligado hallar datos de los distintos componentes del sistema energético, como equipos, aislamientos, etc.

Se pueden hacer comparaciones entre los componentes y equipos más eficaces disponibles en el mercado, juntamente con los costos de su adquisición. Los suministradores son la fuente más concreta para obtener esos datos, aunque existen publicaciones especializadas. El potencial de mejoras, especialmente por sustitución de equipos, se obtiene por comparación de las cifras reales con las alternativas del mercado que indican el benchmarking.

#### **3.5.4.3 Balances de energía de los procesos**

Excepto en los análisis de procesos químicos y procesos esencialmente térmicos, los balances de energía suelen ser simples. En los procesos térmicos y químicos con evolución energética se aplican las clásicas ecuaciones de conservación de la energía, en forma de energía total para un período de tiempo determinado:

$$\text{energía introducida} + \text{energía generada} = \text{energía cedida} + \text{energía acumulada}$$

o bien expresada como flujos junto con la generación y acumulación por unidad de tiempo. Hay que definir previamente los límites de aplicación del balance (el volumen de control). El término de acumulación se necesita durante los períodos transitorios, pero desaparece en los períodos estacionarios.

#### **3.5.4.4 Análisis del ajuste termodinámico**

Esta técnica permite identificar los puntos en que los gradientes de temperatura son insuficientes para la transferencia de calor en condiciones prácticas. Al ser la transferencia función de los gradientes, esta debe ser suficiente para que la velocidad de transferencia sea compatible con la inversión realizada en superficie de transferencia. La técnica de ajuste termodinámico es especialmente útil en el análisis de redes complejas de intercambio calorífico.

En procesos de alta complejidad, el uso de técnicas de ajuste termodinámico (pinch), que determinan como alcanzar los límites de rendimiento energético para recuperar calor y aumentar la eficiencia energética, han permitido llegar a ahorros de hasta el 40 % del consumo energético.

#### **3.5.4.5 Análisis de exergía**

El análisis de la exergía (energía disponible) o trabajo perdido se realiza de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica. La exergía es la máxima cantidad de trabajo que un sistema puede suministrar hasta alcanzar el equilibrio con su entorno. El trabajo perdido es la pérdida irreversible de energía que tiene lugar por el hecho de que un proceso opera con un gradiente de propiedades, o porque se mezclan materiales a diferentes temperaturas o de distinta composición. El análisis según la segunda ley de la termodinámica considera los distintos componentes individuales del proceso global para definir las causas del trabajo perdido.

#### **3.5.4.6 Revisiones de campo**

La visita de campo a través de las instalaciones, conjuntamente con un especialista energético y un buen conocedor del proceso, permite detectar puntos adicionales para una revisión más a fondo. El especialista energético diagnostica el problema e identifica las mejoras adicionales que se pueden introducir, mientras que el conocedor del proceso ofrece la información necesaria para el diagnóstico y anticipa los potenciales efectos de los cambios.

#### **3.5.4.7 Uso de reglas prácticas**

Los expertos energéticos cuentan con una serie de reglas prácticas adquiridas con la experiencia, que les permiten con cierta facilidad identificar los puntos en los cuales se pueden esperar buenos resultados con la aplicación de medidas de mejoras de los procesos.

Existen listas publicadas que describen tales reglas, y aunque son de aplicabilidad general pueden necesitar una revisión para las condiciones locales. El técnico experimentado crea, además, nuevas reglas según sus propios hallazgos en la práctica. Como ejemplos de tales reglas de identificación se pueden mencionar:

- Temperaturas de emisión de gases en chimeneas superiores a 150 °C
- Corrientes de proceso a más de 120 °C enfriadas por aire o agua sin recuperación de calor
- Exceso de aire en la combustión superior al 10 % con un buen combustible
- Purgas en las torres de enfriamiento del 2,5% al 3 % de la recirculación
- Reflujos en las columnas de destilación superior a 1,15 veces el reflujo mínimo
- Eficiencia de bombas y turbinas inferior al 65 %

### **3.5.5 Ejecución de los programas**

La ejecución del programa puede iniciarse con aquellas oportunidades identificadas que se pueden realizar a bajo o ningún costo y son de ejecución inmediata. En plantas de cierta antigüedad, que nunca han sido evaluadas anteriormente, los ahorros conseguidos pueden fácilmente llegar a ser entre el 10 y el 25 %. Ejemplos de tales reducciones pueden ser reducciones en los inventarios de combustible, mejoras en los quemadores y utilización eficiente de las calderas, correcto mantenimiento de las trampas de vapor, instalación de sistemas más eficientes de iluminación, iluminación solo en las zonas que lo requieran y en el tiempo realmente necesario.

Las revisiones de campo permiten identificar una serie de alternativas que luego se revisan detalladamente para seleccionar las más interesantes. Algunas opciones requieren de análisis más profundos, tales como realizar balances energéticos completos. Algunas veces conviene contar con especialistas en el equipo analizado. Este tipo de opciones requiere mayor esfuerzo y tiempo de evaluación, y a menudo inversiones en nuevos equipos o materiales. En conjunto, se estima que estos análisis más detallados pueden conseguir mejoras adicionales del 1 al 10%.