

IPN
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD CULHUACAN



TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA

INGENIERO EN MECANICA

INGENIERO EN ROBOTICA

SEMINARIO

“CONTROL MODERNOS APLICADO A MAQUINAS ELECTRICAS
ROTATORIAS Y A SISTEMAS AUTOMATIZADOS”

REG. FNS5122005/06/2006

PRESENTAN:

CELESTINO VARGAS MARIO
MATIAS LEON JUAN CARLOS
RUIZ FERNÁNDEZ JOSUÉ
TORRES OLALDE MARIO EDUARDO

TEMA:

“CONTROL DE UN PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA”

OBJETIVO:

La siguiente tesina tiene como objetivo principal obtener agua con alto grado de pureza por medio de un proceso de destilación. Dicho proceso se controlara con la ayuda de un PLC.

INDICE:

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL PROCESO.

CAPITULO III. PLANTEAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

M. EN C. LAZARO EDUARDO CASTILLO BARRERA

ING. EDGAR MAYA PÉREZ

M. ENC. GUILLERMO TRINIDAD SÁNCHEZ.
ASESOR



IPN
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD CULHUACAN



TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA

INGENIERO EN MECANICA

INGENIERO EN ROBOTICA

SEMINARIO

“CONTROL MODERNOS APLICADO A MAQUINAS ELECTRICAS
ROTATORIAS Y A SISTEMAS AUTOMATIZADOS”

REG. FNS5122005/06/2006

PRESENTAN:

CELESTINO VARGAS MARIO
MATIAS LEON JUAN CARLOS
RUIZ FERNÁNDEZ JOSUÉ
TORRES OLALDE MARIO EDUARDO

TEMA:

“CONTROL DE UN PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA”

OBJETIVO:

La siguiente tesina tiene como objetivo principal obtener agua con alto grado de pureza por medio de un proceso de destilación. Dicho proceso se controlara con la ayuda de un PLC.

INDICE:

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEORICOS DEL PROCESO.

CAPITULO III. PLANTEAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

México, D.F. a 17 de Marzo del 2007

INDICE

| | | |
|--|--|----|
| CAPITULO I: INTRODUCCION | 1 | |
| 1.1 | GENERALIDADES | 2 |
| 1.2 | OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 1.3 | OBJETIVOS PARTICULARES | 5 |
| 1.4 | ESTADO DEL ARTE | 6 |
| 1.5 | JUSTIFICACIÓN | 7 |
| | | |
| CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROCESO | 8 | |
| 2.1 | MODELADO | 9 |
| 2.1.1 | SISTEMA TERMODINÁMICO | 10 |
| | Sistema Cerrado | 10 |
| | Sistema Abierto | 11 |
| 2.1.2 | PROPIEDADES TERMODINAMICAS | 12 |
| | Equilibrio Termodinámico | 12 |
| | Procesos | 13 |
| | Reversibilidad | 13 |
| | Ciclos | 14 |
| 2.1.3 | TRABAJO REALIZADO DURANTE UN CICLO | 15 |
| 2.1.4 | DIAGRAMA TEMPERATURA- ENTROPIA ESPECIFICA | 15 |
| | Proceso Isotérmico | 16 |
| | Proceso Adiabático | 17 |
| 2.2 | DESTILACION | 18 |
| | Equilibrio Liquido-Vapor | 19 |
| | Vaporización Y Condensación Parcial | 20 |
| | Presiones Parciales: Leyes De Dalton, Raoult Y Henry | 21 |
| | Volatilidad Relativa (A) | 22 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.2.1 | TIPOS DE DESTILACIÓN | 23 |
| | Destilación Diferencial | 23 |
| | Destilación De Equilibrio | 23 |
| | Destilación Fraccionada | 23 |
| | Destilación Por Vapor | 27 |
| | Destilación Al Vacío | 27 |
| 2.2.2 | APARATOS DE DESTILACIÓN | 27 |
| | Relleno | 28 |
| | Columnas De Platos Borbotadores | 29 |
| 2.3 | SENSORES Y TRANSDUCTORES | 30 |
| 2.3.1 | CARACTERISTICAS ESTATICAS Y DINAMICAS | 32 |
| 2.3.2 | PRESION DE FLUIDOS | 33 |
| 2.3.3 | NIVEL DE LIQUIDOS | 35 |
| | Flotador | 35 |
| | Presión Diferencial | 35 |
| 2.3.4 | TEMPERATURA | 36 |
| | Tiras Bimetricas | 36 |
| | Detectores De Temperatura Por Resistencia | 36 |
| | Termistores | 37 |
| | Termopares | 37 |
| | Termodiodos Y Termotransistores | 38 |
| 2.3.5 | ELECTROVALVULAS | 39 |
| | Electroválvulas De Doble Solenoide | 40 |
| | Válvulas Proporcionales | 40 |
| 2.4 | CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES | 41 |
| | Entrada / Salida | 42 |
| 2.4.1 | PROCESAMIENTO DE LA ENTRADA / SALIDA | 43 |

| | | |
|---|----------------------------|----|
| 2.4.2 | PROGRAMACION | 44 |
| | Enclavamiento | 44 |
| | Temporizadores | 45 |
| | Relevadores Internos | 46 |
| | Contadores | 47 |
| 2.4.3 | SELECCION DE UN PLC | 47 |
| CAPITULO III: PLANTEAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO | | 48 |
| 3.1 | PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA | 49 |
| 3.2 | AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA | 50 |
| | Agua De Proceso | 50 |
| | Agua De Enfriamiento | 50 |
| | Operación | 51 |
| | Diagrama De Escalera | 52 |
| | Diagrama De Conexión | 57 |
| CAPITULO IV: CONCLUSIONES | | 59 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 61 |
| APÉNDICE | | 63 |

CAPITULO I

“INTRODUCCION”

1.1. GENERALIDADES

Por muchos años, el uso de el agua para propósitos domésticos e industriales se ha ido incrementando. Aparte de este crecimiento de el uso de el agua, ha habido de igual manera una demanda por agua de más calidad. El agua ya no es aceptable a menos de que cumpla con ciertos estándares de pureza química y biológica. Todos estos requerimientos se combinan para hacer el acondicionamiento de agua una ocupación altamente técnica, poniendo una gran responsabilidad en el personal empleado por la industria del acondicionamiento de agua.

El agua es una sustancia única en muchas maneras. es un compuesto de dos gases, mas sin embargo existe de manera liquida a temperatura ambiente. Esto es debido a su arreglo molecular y su cohesión. La fuerza de las uniones internas resiste la separación iónica, por lo tanto el agua pura liquida, contiene muy pocos iones y no es buen conductor de electricidad. Puede mantener sus características, identidad e integridad estructural bajo condiciones muy drásticas.

El agua puede ser congelada a temperaturas bajo cero, o calentada a temperaturas extremadamente altas y aun así ser agua molecular. La unión entre moléculas de agua hace que esta exista como liquido a temperaturas normales, mientras que otros compuestos de pesos similares son gases.

El metano y amoniaco son un poco mas ligeros que el agua, el monóxido de carbono y el dióxido de carbono son mas pesados, aun así todos son gases. Debido a la estructura asimétrica del agua la molécula es desbalanceada. Una molécula de agua tiene dos átomos de hidrogeno en un extremo y un átomo de oxigeno en el otro extremo. Esto hace que esta molécula sea polar, esto es, la molécula actúa como un imán.

Las moléculas de agua se arreglan entre si en cadenas por atracción magnética que es mucho mas fuerte que la atracción usual entre las moléculas. Esta atracción causa que el agua tenga una gran tensión superficial que permite que los objetos floten en ella. Esta atracción hace que se adhiera a superficies, lo que la hace un agente humidificador excelente. La acción polar de agua también permite que esta disuelva sustancias y que las separe en iones. Los iones son mantenidos separados en las cadenas magnéticas. Esta propiedad sobresaliente hace que el agua sea un solvente casi universal.

El agua es la única sustancia que existe bajo el rango no muy amplio de temperaturas de la tierra en tres estados fisicos: sólido, liquido y gas. Mientras que la mayoría de las sustancias se contraen al ser congeladas, el agua se expande. El agua también es importante por su habilidad de absorber grandes cantidades de calor sin un gran incremento en su temperatura. Tiene un efecto de templado de el clima terrestre. se estima que el sol convierte 250 toneladas de materia a energía cada minuto. La tierra solo recibe una pequeña parte de esta energía, pero si no fuera por el agua la superficie terrestre se quemaría hasta carbonizarse.

El agua retiene esta energía calorífica para proteger a la tierra de el frío congelante del espacio. La capacidad calorífica del agua es tan alta que es usada como patrón para medir las capacidades caloríficas de otras sustancias. Esta propiedad la hace también muy valiosa en sistemas de calentamiento y de enfriamiento.

Es necesario entender el ciclo hidrológico para poder darse cuenta de la manera en que el agua es disponible y la manera en que el agua adquiere impurezas. El vapor de agua entra a la atmósfera por la evaporación de los océanos, ríos y lagos. La humedad entra a la atmósfera por un grado menor de transpiración de hojas y plantas. Esta humedad carga al aire caliente y es forzado hacia arriba a los niveles mas fríos en donde el agua se condensa para formar nubes.

El condensado precipita en la forma de lluvia, nieve o granizo, y cae a la tierra. Una porción de esta precipitación se evapora antes de que alcance el suelo, una porción corre a los ríos y océanos, una porción se cuela para recargar el abastecimiento subterráneo de agua. Si el agua como esta en la naturales fuera agua pura, no habría necesidad para el análisis o tratamiento de agua. Cualquiera que sea la fuente, el agua contiene impurezas en solución o en suspensión. Las partículas de polvo en el aire causan que el agua se forme a una altitud menor; por ende el agua tiene polvo. Las gotas de lluvia disuelven el oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbón, y otros gases que caen a través del aire. Las gotas de lluvia también se encuentran humo, smog, bacterias, esporas y otras partículas que se convierten suspensiones en el agua.

El agua de superficie es turbia por la presencia de impurezas, arcillas y algas. El agua corriente recoge nutrientes y materia orgánica de los campos de agricultura. Recoge desechos animales, contaminantes, materia vegetal descompuesta, color y microorganismos y los llevara a lagos y océanos que proveen una gran cantidad de el agua para beber del mundo. El drenaje y los desechos industriales también son desechados en estos mismos ríos y lagos que proveen de agua para beber. El agua del subsuelo contiene menos turbidez y materia orgánica debido a la filtración natural de la corteza terrestre. El agua del subsuelo será alta en minerales disueltos debido a la habilidad del agua de disolver la mayoría de los minerales. El dióxido de carbón incrementa la habilidad del agua de disolver los minerales al formar un ácido. Las impurezas químicas están presentes en todas las aguas naturales, y un estudio de su significado y efectos es esencial en la industria de el tratamiento del agua e industria farmacéutica.

Las plantas farmacéuticas y las plantas de tratamiento de aguas para purificación no son lo mismo, debido a la diferencia en la concentración de contaminantes. Esta es la razón por la que hay diferentes tipos de tratamiento.

En plantas farmacéuticas tienen concentraciones más altas de agentes contaminantes y también un conocimiento de las sustancias que serán tratadas en cada paso de la producción. Esto hace más fácil encontrar una clase de tratamiento, el cual se fija exactamente en el problema para eliminar agentes contaminantes del agua. Tienen precipitados más finos. Existe la posibilidad de eliminar sustancias usando ultra filtración u osmosis por membranas las cuales son muy efectivas para la eliminación de toda clase de sustancias en casi toda la clase de tratamiento del agua.

En las plantas de purificación se encuentran concentraciones más bajas. La composición de agentes contaminantes depende de muchos hechos y hace su estimación más difícil. Tienen que hacer varios pasos para la filtración y la deposición. También hay un paso de tratamiento biológico, el cual puede reaccionar de forma muy sensible con sustancias especiales. Estos pasos no son útiles, debido a los precipitados, que atascarán las membranas.

En diversas clases de proyectos los fármacos especialmente influyen en el agua superficial los antibióticos. Los científicos tienen miedo a la resistencia de las bacterias contra los antibióticos, que pueden ser peligrosos para los seres humanos. Debido a este hecho, los fármacos se conciben para tener funciones especiales tales como durabilidad larga, resistencia a la hidrólisis ácida de recepciones orales, resistencia contra las enzimas y contra tóxicos de bacterias especiales, problemas que no están fuera de cuestión [9].

El mejor estado del agua que podemos encontrar es el agua destilada. Este tipo de agua se conoce también como agua purificada, desmineralizada, desionizada o agua de Ósmosis Inversa. El agua destilada tiene un sabor diferente, limpio porque los contaminantes, los sólidos y el cloro son reducidos significativamente durante el proceso de destilación.

Una forma de resolver este problema se plantea en esta tesis, a través del proceso de destilación.

La separación de mezclas de líquidos en sus componentes es uno de los procesos más importantes de la industria química y del petróleo, siendo la destilación el método más ampliamente utilizado para conseguir dicha separación. En toda la industria química la demanda de productos más puros, justo con la inexorable búsqueda de mayores rendimientos, ha requerido una continua investigación a las técnicas de destilación.

El objetivo de nuestro diseño no consiste únicamente en conseguir la calidad requerida del producto a un coste mínimo, sino también proporcionar una pureza del producto constante aunque haya alguna variación en la composición de la alimentación. Además, nunca debe considerarse una unidad de destilación sin tener en cuenta la unidad de control a ella asociada; generalmente dicha unidad operara en combinación con otras varias unidades.

“CONTROL DE UN PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA”

1.2. OBJETIVO GENERAL

Obtener agua con alto grado de pureza por medio de un proceso de destilación. Dicho proceso se controlara con la ayuda de un PLC.

1.3. OBJETIVOS PARTICULARES

Obtener agua con alto grado de pureza por medio de un proceso de destilación.

Automatizar el proceso de destilación con un PLC.

Además de automatizar el proceso, se podrá interactuar con éste, controlar y visualizar. Siendo capaz de hacer ajustes desde nuestra PC, es decir, forzar nuestras entradas y visualizar estas por medio de lámparas.

1.4. ESTADO DEL ARTE

El agua ultra pura se utiliza principalmente en los semiconductores y la industria farmacéutica. La producción del agua ultra pura exige una manera especializada de trabajo. Algunas técnicas que se utilizan entre otras son: filtración de membrana, intercambiadores iónicos, electrodesionización, filtros secundarios de micras, ultra violeta, sistemas de ozono y destilación. El agua producida es extremadamente pura y contiene una concentración muy baja de sales, de componentes orgánicos, oxígeno, sólidos suspendidos y bacterias [10].

Existe un sistema de control para la obtención de ozono, el cual se utiliza para la desinfección de agua. El sistema está basado en el manejo de alto voltaje para una reacción química controlada la cual permite enlazar iónicamente una molécula de dióxido y una molécula de oxígeno obteniendo con esto una molécula de ozono. Este sistema parte de la compresión de aire del ambiente para hacerlo fluir dentro de un reactor de alto voltaje, el mismo que es enfriado por un flujo de agua controlada a la temperatura de este, es decir que al haber una mayor reacción en potencia aumenta la temperatura del reactor y se tendrá un mayor flujo de agua para evitar la destrucción de la molécula ya formada de ozono (O_3). Un buen control de la potencia permite obtener una producción regulada para dosificar lo producido de acuerdo a la cantidad de agua a desinfectar. Se cuenta para el control del proceso con un PLC, el cual ayudara al manejo de las distintas señales enviadas por los diferentes sensores en cada una de las etapas del proceso [1].

Por medio de la destilación es posible la obtención de vapor tal es el caso del “Estudio térmico de un tubo absorbedor compuesto”. La generación directa de vapor con condensadores solares, es una alternativa en el futuro, para la generación de potencia eléctrica. Los sistemas solares que operan en la actualidad, utilizan un aceite térmico como fluido de trabajo, comparadas con las plantas de combustibles fósiles, tienen como desventaja que, las temperaturas y presiones de operación son bajas, (aproximadamente de $350^{\circ}C$ y 30 bar). El tubo se compone con el empalme de dos tubos de cedula comercial de los materiales cobre y acero, formando una pared compuesta con una proporción de Cu de 20% y Acero del 80%. Se encontró del análisis de resultados, que el arreglo propuesto del tubo compuesto mejora satisfactoriamente el comportamiento del tubo absorbedor, reduce la diferencia máxima de temperaturas en 50% con respecto a los tubos de aceros [2].

El agua destilada es aquella a la que se ha eliminado la práctica totalidad de impurezas e iones mediante destilación (el agua llega a su punto de ebullición y se recogen sus vapores, condensándolos). Debido a su relativamente elevada pureza algunas propiedades de este tipo de agua son significativamente diferentes a las del agua de consumo diario. Como ejemplo podemos indicar que la conductividad del agua destilada es notablemente menor que la del agua del grifo común, al carácter de muchos iones que contribuyen a la conductividad, típicamente cloruros, calcio, magnesio y fluoruros. Una propiedad potencialmente peligrosa del agua destilada es que puede ser calentada en un horno de microondas por encima de su punto de ebullición sin hervir. Solo cuando esta agua sobre calentada es agitada violentamente o se le añaden impurezas como partículas de polvo o cristales (por ejemplo de cloruro sódico o azúcar), hierve de forma repentina y explosiva pudiendo causar quemaduras, es por eso que se debe tener un buen control y monitoreo de la temperatura en el proceso. [3]

1.5. JUSTIFICACIÓN

El proceso de destilación de agua implementado tiene como objetivo principal obtener agua pura y libre de contaminantes, impurezas y químicos como sea posible, así como tener un buen control automático de dicho proceso.

El equipo de destilación que existe en el mercado cuenta con un Sistema de Control electromecánico basado principalmente en relevadores. Debido a la gran importancia de estos equipos, ya que son los que suministran agua estéril a toda una planta de producción, especialmente en plantas Farmacéuticas e Industrias Químicas, es importante detectar rápidamente la falla cuando el equipo no opera y con el sistema de control que cuenta no se garantiza la operación permanente del mismo. Es por eso que se desea automatizar dicho proceso.

La importancia de nuestro estudio es la obtención de un proceso automatizado para la obtención de agua destilada con un alto grado de pureza. Ya que en la Industria Farmacéutica y Química no basta con la obtención de agua destilada como tal, ni mucho menos con un proceso típico de Destilación, es por ello que para la automatización de dicho proceso es necesario el monitoreo y control de ciertas variables que intervienen en el proceso.

Son la presión y temperatura las dos principales variables a controlar y monitorear en un Proceso de Destilación y para su automatización por citar algunas de las variables a controlar se encuentra el nivel del líquido, el cierre o apertura del agua suministradora del proceso y el calentamiento de cada una de las partes que intervienen en el proceso para su perfecto funcionamiento, y como tal del sistema. Sin dejar de mencionar que los sensores y transductores juegan un papel muy importante en el proceso, de lo contrario las mediciones hechas durante el proceso serán erróneas y el resultado por consiguiente no será el esperado.

El proceso en estudio es considerado como un Proceso Isotérmico. En el cual durante toda la parte del proceso el agua no tiene contacto con el medio ambiente, asegurando en esta parte del proceso una esterilización total, libre de impurezas. Creando un sistema de Destilación de Agua con un alto grado de pureza y 100% automático. Basta con pulsar el botón de arranque para que el sistema opere de forma automática.

Los PLC son sistemas autómatas programables capaces de controlar diferentes variables, por lo tanto son adecuados para controlar nuestro proceso de destilación puesto que manejamos diversas variables (presión, nivel, temperatura).

CAPITULO II

“FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROCESO”

Para la realización del proyecto es indispensable tener conocimientos acerca de sistemas de modelado, termodinámica, destilación y controladores lógicos programables (PLC). Es por ello que en esta tesina hacemos mención de cada uno de ellos, para así tener las mejores herramientas para nuestro planteamiento y solución.

2. 1. MODELADO

El propósito de la termodinámica es el de poder resolver problemas. Para esto, se debe entender bien el comportamiento físico del fluido que se utiliza en un dispositivo. Los dispositivos típicos son turbinas, compresores, calderas y pistones. Con el fin de analizar estos dispositivos es necesario poder modelar la situación.

Un modelo es un medio para representar al dispositivo o la situación real. El modelo más común es quizás el modelo a escala. Los tipos de modelo que se usan para definir y analizar situaciones termodinámicas se clasifican en forma general de la siguiente manera:

1. El modelo conceptual, utilizado para visualizar el dispositivo y los procesos que se llevan a cabo dentro de este.
2. El modelo matemático, utilizado para derivar ecuaciones matemáticas con el fin de definir el comportamiento termodinámico del fluido de trabajo en las condiciones relevantes.

Por medio de estos modelos es posible describir una estrategia ordenada para la resolución de problemas termodinámicos. Aun que no todos los problemas son iguales ni se resuelven exactamente de la misma manera, es necesario tener una idea clara de cómo abordar problemas. La siguiente estrategia paso a paso proporciona una base para resolver problemas.

1. Entender el problema. Significa tener una imagen clara de lo que el problema implica y esto, a su vez, significa crear el modelo conceptual.
2. Definir el problema. El sistema puede ser cerrado o abierto, dependiendo de la situación.
3. Dibujar un diagrama representativo de los procesos. Los diagramas de procesos son un componente esencial en la resolución de problemas de termodinámica. Por definición, estos diagramas son modelos conceptuales del comportamiento del fluido dentro de un sistema y definen el comportamiento en términos de las propiedades del fluido.
4. Construir un modelo matemático del problema. Aplicación de las ecuaciones básicas de masa, energía y momento para definir los procesos que se llevan a cabo en el sistema.
5. Hacer suposiciones. Simplificar las ecuaciones generales para hacerlas más aplicables a un problema particular, desdénando los términos que tengan un efecto despreciable.
6. Analizar el problema. Usar las ecuaciones simplificadas en forma reordenada para determinar las cantidades desconocidas dentro del problema.

2.1.1 SISTEMA TERMODINAMICO

El termino sistema es tan utilizado en ingeniería, un sistema es una colección de partes o componentes interconectados. En un motor de gasolina de un solo cilindro el sistema comprende el cilindro, el pistón, la biela, y el cigüeñal junto con las partes relacionados, como valeros y válvulas, El espacio contenido dentro del conjunto de cilindro y pistón es la región donde se llevan a cabo los cambios termodinámicos.

SISTEMA CERRADO

Un sistema cerrado es aquel en el cual no hay flujo de fluido que entre o salga de la región que se considera. Por tanto, se deduce que un sistema cerrado contiene una cantidad, o masa, fija de fluido. En la figura 2.1 se muestra un sistema cerrado, este diagrama muestra las partes principales de un sistema termodinámico: el sistema cerrado en si, la frontera que lo contienen y la región fuera de la frontera, que recibe el nombre de entorno. Por entorno entenderemos cualquier región fuera del sistema.

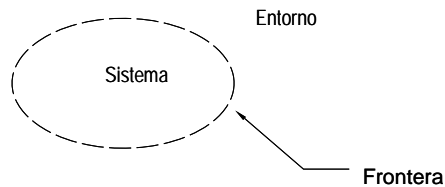


FIGURA 2.1. Sistema Cerrado

La frontera de un sistema cerrado cumple dos funciones, se puede considerar como una frontera entre el sistema y el entorno, y retiene la cantidad fija de fluido dentro del sistema. También proporciona un modelo conceptual necesario para resolver problemas mediante la definición de la región particular que se considera. Con la definición de la frontera se define el sistema cerrado.

En la figura 2.2 aparece un conjunto de cilindro y pistón que contienen un gas. Se puede suponer que el gas está a una presión más alta que el entorno, lo que ocasiona que el pistón se mueva. Si tomamos como sistema cerrado la región contenida por las paredes del cilindro y la parte superior del pistón, entonces la frontera esta definida por "A", a medida que se mueva el pistón, la frontera tendrá que cambiar de forma para acomodar el movimiento. Una frontera no es rígida y fija; puede ser móvil, siempre y cuando haya una masa dada de fluido dentro del sistema.

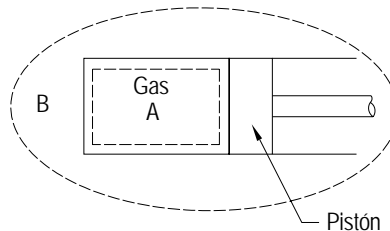


FIGURA 2.2. Conjunto de cilindro y pistón

Por comparación, la frontera "B" define la misma situación pero ahora el sistema contiene el gas en el cilindro, en el conjunto cilindro-pistón y en parte de la región del entorno (una manera diferente de ver la misma situación, tan sólo cambiando la frontera). Haciendo la frontera B suficientemente grande, la región que rodea al cilindro no resultaría influida por el movimiento del pistón, mientras que para la frontera "A" el movimiento es muy importante ya que el pistón en movimiento haría trabajo sobre el entorno.

Considerando la frontera “A”, el modelo se puede usar para analizar el trabajo realizado por el pistón en movimiento. Si éste fuera el objetivo. El movimiento del pistón y el trabajo resultante realizado sobre el entorno significa que el trabajo puede cruzar la frontera de un sistema cerrado. De hecho, tanto el calor como el trabajo puede cruzar la frontera ya que ambos son formas de energía y no propiedades del sistema.

Para una planta de vapor el fluido de trabajo es una cantidad fija, por lo tanto la planta constituye un sistema cerrado y la frontera se puede definir como se muestra en la figura 2.3. Como el calor y el trabajo pueden cruzar la frontera, el diagrama también define la transferencia de calor hacia la caldera, la transferencia de trabajo proveniente del expansor, la transferencia de calor proveniente del condensador y la transferencia de trabajo hacia la bomba de alimentación.

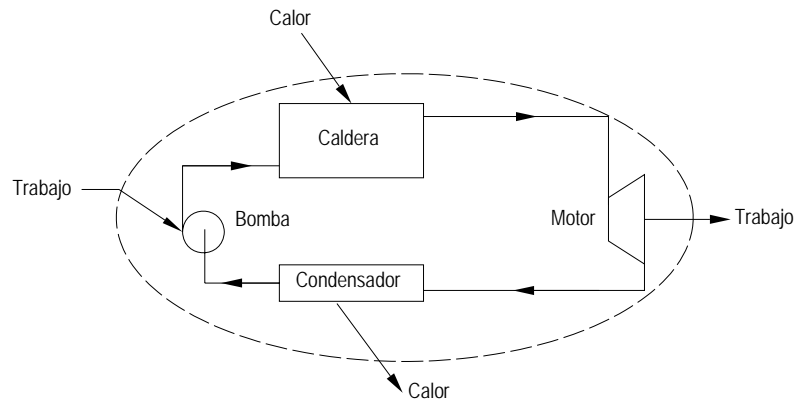


FIGURA 2.3. Planta de vapor en un sistema cerrado

SISTEMA ABIERTO

La planta de vapor se puede modelar como un sistema cerrado, en la caldera hay flujo de agua hacia el interior y un flujo de vapor hacia el exterior. La cantidad de fluido dentro de la caldera no es fija debido a este flujo. Por lo tanto, la caldera no es un sistema cerrado sino un típico ejemplo de sistema abierto. Por definición, un sistema abierto permite el flujo de fluido a través de la frontera.

Así como un sistema cerrado se define por la frontera, lo mismo sucede con un sistema abierto. Hay transferencia de calor a través de la frontera junto con el flujo de masa de agua que entra y el vapor que sale. Sin embargo, a diferencia de la frontera de un sistema cerrado, la frontera de un sistema abierto no es móvil, sino que está fija en el espacio. Por tanto, es posible definir un sistema abierto como un volumen fijo de espacio. Debido a esto, un sistema abierto en ocasiones se conoce como “volumen de control”. En la figura 2.4 se muestra un ejemplo de un sistema abierto.

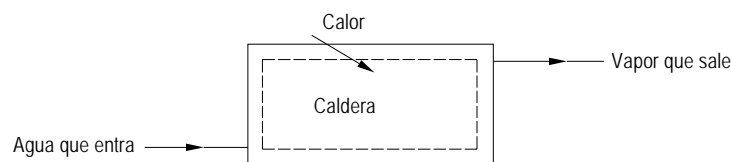


FIGURA 2.4 Ejemplo de lazo cerrado

2.1.2. PROPIEDADES TERMODINAMICAS

El estado de un sistema está determinado por los valores de las propiedades del fluido que hay dentro del él, tales como el volumen, la masa y la velocidad del fluido dentro del sistema. En el caso de la presión, la temperatura y la velocidad, la propiedad puede cambiar con el tiempo de manera que cualquier valor particular debe definirse en un instante particular. Se deduce entonces que el estado de un sistema también cambia con el tiempo, conforme el sistema se somete a un proceso.

La velocidad es un tipo de propiedad diferente de la presión o la temperatura. Se considera que la velocidad es una propiedad mecánica por que define la energía cinética que hay dentro del sistema. Otra propiedad mecánica es la altura de un sistema dentro del campo gravitacional.

La presión y la temperatura son dos de las propiedades termodinámicas y como tales son independientes del tamaño del sistema, es decir ambas son independientes de la masa del fluido contenido dentro del sistema.

Por otra parte, el volumen si depende de la masa del fluido. Una masa de 2 kg. Tendrá dos veces el volumen de una masa de 1 kg. Siempre y cuando el fluido se encuentre a la misma presión y temperatura.

EQUILIBRIO TERMODINÁMICO

El equilibrio implica una condición estable en la que no hay desequilibrio inherente. Esto significa que le fluido debe cumplir con tres tipos de equilibrio. El primero de éstos es el equilibrio térmico, en el que la temperatura es constante. En la figura 2.5 (a) muestra un sistema cerrado, el fluido no se encuentra en equilibrio térmico pues hay diferencias en la temperatura. Estas diferencias en la temperatura podrían dar lugar a una transferencia de calor dentro del fluido y al movimiento del fluido dentro del sistema, en la figura 2.5 (b) el fluido ha logrado condiciones de equilibrio pues la temperatura es constante a través del sistema.

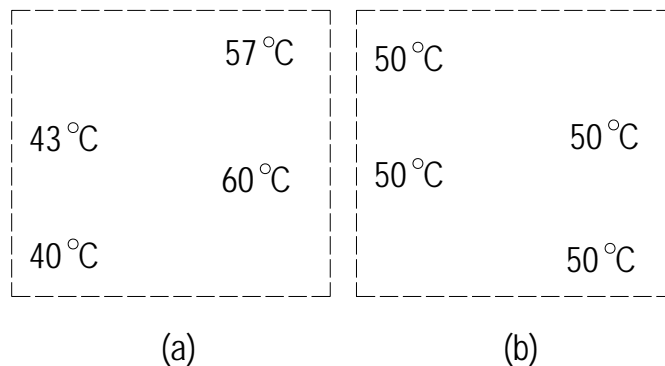


FIGURA 2.5. Sistema cerrado

De manera similar, el fluido debe tener presión constante a través del sistema; de lo contrario, las fuerzas dentro del fluido estarían desbalanceadas y el sistema no tendría equilibrio mecánico. Por ultimo, el fluido debe tener equilibrio químico de manera que su composición química no cambie con el tiempo.

PROCESOS

Cualquier cambio en un sistema cuando el fluido que hay dentro pasa de un estado de equilibrio a un nuevo estado de equilibrio recibe el nombre de proceso. Para cualquier fluido puro basta con definir el estado del fluido por medio de dos propiedades independientes. Esto es muy útil cuando se visualizan procesos termodinámicos, ya que cada proceso se puede definir en cada etapa por medio de sólo dos propiedades y una grafica de los procesos trazada utilizando las dos propiedades como las ordenadas.

En la figura 2.6 se muestra la grafica de un fluido que se expande de la presión P_1 y el volumen específico V hasta una presión P_2 menor. Conforme el fluido se expande, el volumen específico aumenta.

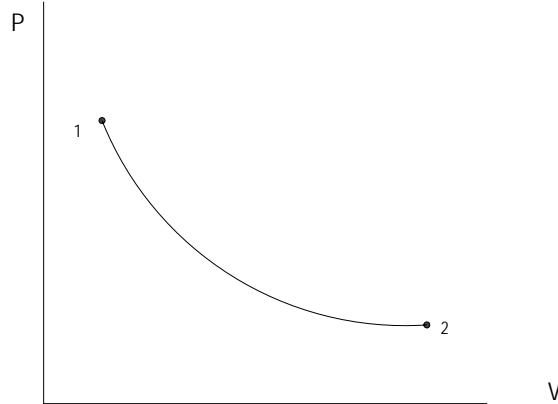


FIGURA 2.6. Proceso termodinámico

Un diagrama de proceso es una manera eficaz de visualizar el comportamiento de un sistema. Dos de estos diagramas que forman la base de análisis de situaciones termodinámicas son los diagramas de presión- volumen específico y de temperatura-entropía específica.

REVERSIBILIDAD

Cuando un proceso se invierte de manera que el fluido logre el estado original, entonces se dice que es reversible. El cilindro y el pistón tienen como resultado un proceso de expansión. Si en lugar de que el pistón se mueva hacia la derecha se mueve hacia la izquierda de manera subsecuente, el gas primero se expande y luego se comprime (figura 2.7).

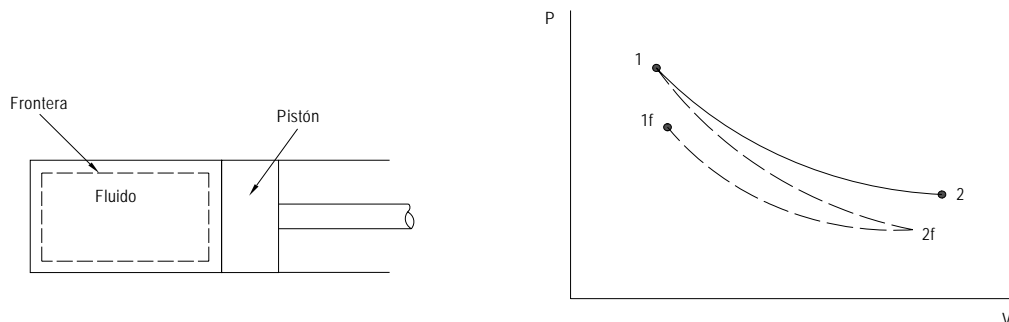


FIGURA 2.7. Proceso de expansión y compresión

Si el gas se expande desde 1 y el pistón se mueve con libertad, sin fricción, el proceso es ideal y termina en 2, la inversión del movimiento del pistón ocasiona que el gas se comprima hasta volver de nuevo al punto 1. Por tanto, el proceso de expansión original es reversible.

Por otra parte, si hay fricción entre el pistón y el cilindro, habrá una caída de presión mayor durante la expansión y el proceso seguirá la curva de 1 a 2_f en cuyo caso el subíndice f se refiere al estado final resultante con fricción. La compresión del gas de nuevo hasta el volumen original tiene como resultado el estado final 1_f que se encuentra alejado del punto 1. Por tanto, la expansión de 1 a 2_f no es reversible. Este proceso se conoce como irreversible y la irreversibilidad se atribuye a la fricción del pistón.

Para el estudio de termodinámica se supone que los procesos en cilindros con pistones deslizantes son reversibles pues es posible despreciar la fricción. En dispositivos rotatorios, como compresores o turbinas, el flujo de fluido a través de las aspas está sujeto a fricción y turbulencias, de manera que el proceso debe suponerse irreversible.

CICLOS

Cuando un fluido se somete a diferentes procesos y vuelve a su estado original, se dice que se ha sometido a un ciclo, o de manera más precisa, a un ciclo termodinámico. La planta de vapor que se define en la figura siguiente muestra los puntos de estado a cada lado de cada componente. Entonces es posible definir el proceso en cada componente en un diagrama de presión-volumen específico (figura 2.8).

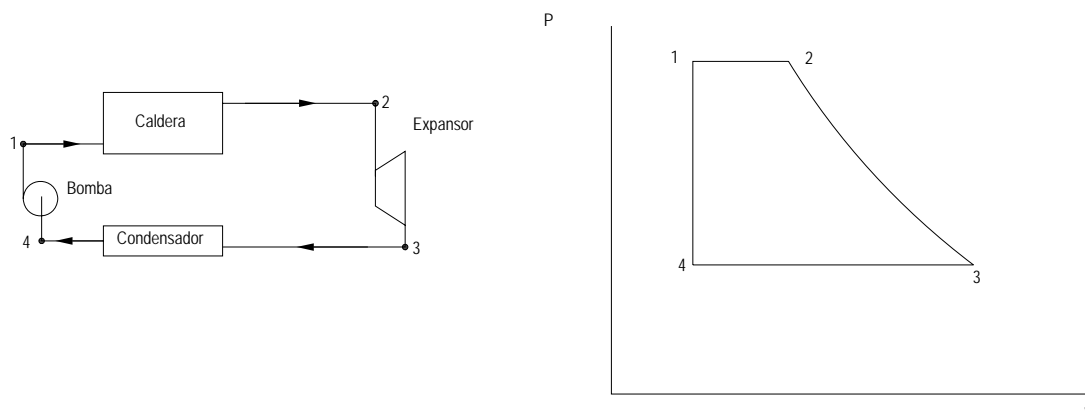


FIGURA 2.8. Ciclo de una planta de vapor

Entre los puntos de estado 1 y 2 el fluido entra en la caldera como agua, con un volumen específico bajo. El proceso en la caldera es a presión constante, con un incremento en el volumen específico conforme el agua se evapora. La expansión se lleva a cabo entre los puntos 2 y 3 hasta una presión más baja, y entonces el vapor se condensa de nuevo entre 3 y 4. El agua que sale del condensador se bombea de regreso a la presión de la caldera, suponiendo que el incremento en la presión tiene un efecto despreciable sobre el volumen específico del agua.

2.1.3. TRABAJO REALIZADO DURANTE UN CICLO

Cuando un sistema cerrado realiza una serie de procesos de manera que el fluido dentro del sistema vuelve a su estado original, entonces el sistema ha pasado por un ciclo. Si cada uno de los procesos individuales que conforman el ciclo es reversible, entonces el ciclo completo es reversible. Si cada uno de los procesos que conforman el ciclo se dibujan en un diagrama P-v, entonces el trabajo realizado durante cada proceso será el área debajo de cada curva de proceso.

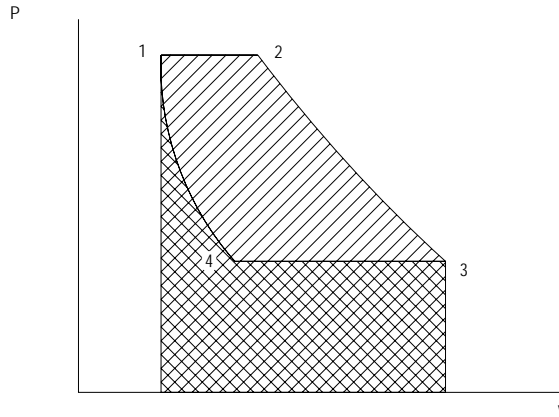


FIGURA 2.9. Diagrama P-v de un ciclo

En la figura 2.9 se muestra un ciclo formado por cuatro procesos reversibles, 1 a 2, 2 a 3, 3 a 4 y 4 de vuelta 1. Debido a que cada uno de los procesos es reversible, el ciclo completo es reversible. Durante los primeros dos procesos 1-2-3, el trabajo se realiza sobre el entorno y la cantidad total es el área bajo la curva 1-2-3.

Durante los dos últimos procesos 3-4-1, el trabajo se realiza sobre el sistema y la cantidad de este trabajo es el área bajo la curva 3-4-1. Sumando las áreas que aparecen obtenemos:

$$\text{Área encerrada por } 1-2-3-4-1 = \text{Área bajo } 1-2-3 - \text{Área bajo } 3-4-1$$

De ahí se deduce que el área encerrada en el ciclo 1-2-3-4-1- representa el trabajo neto para el ciclo. Como el área bajo la curva 1-2-3 es mayor que la que se encuentra bajo la curva 3-4-1, el trabajo neto es una salida proveniente del sistema.

2.1.4. DIAGRAMA TEMPERATURA- ENTROPIA ESPECIFICA

La transferencia neta de calor al sistema es igual al trabajo neto realizado sobre el entorno. El trabajo neto realizado para un ciclo reversible es el área de ese ciclo cuando se dibuja sobre un diagrama P-v. se puede establecer que.

$$q_{neto} = \omega_{neto} = \int p dv \quad (2.1)$$

Donde el subíndice “c” bajo el signo de integral significa que es para el ciclo completo.

Esto permite encontrar la magnitud del calor neto transferido, pero nada dice acerca de la transferencia de calor para cada proceso individual. Esto se debe a que hay una diferencia entre calor transferido y el trabajo efectuado para cada proceso, y esa diferencia es el cambio de la energía interna específica durante cada proceso. Es necesario crear otro diagrama de proceso, diferente del diagrama P-v, para describir la transferencia de calor depende de una diferencia de temperatura y por tanto la temperatura T debe ser una las propiedades utilizadas para cualquier diagrama de proceso semejante.

Es evidente que lo que se requiere es una propiedad que sea sólo una función de calor transferido q y la temperatura del fluido dentro del sistema T . Esa propiedad se llama entropía, o bien cuando se aplica a 1 kg de fluido, entropía específica, y recibe el símbolo “ s ”.

La palabra entropía se deriva del griego y significa transformación. En otras palabras, es una alteración del estado de un fluido dentro de un sistema. Un fluido a alta temperatura, que tiene moléculas que se mueven de manera muy desordenada, tiene un valor más alto de entropía específica que uno en el cual las moléculas se mueven de manera más ordenada. Por tanto, en ocasiones la entropía se concibe como una medida del desorden dentro de un fluido o dentro de un sistema.

En esta etapa basta con considerar a la entropía específica como una propiedad. Así como el trabajo es el área bajo la curva de proceso reversible en un diagrama $P-v$, el calor es el área bajo una curva de proceso reversible en un diagrama $T-s$, y la cantidad de calor transferido está dada por:

$$q = \int_1^2 T ds \quad (2.2)$$

Revisando las unidades, q está en kJ / kg y T está en K . Por lo tanto las unidades para la entropía específica “ s ” son $\text{kJ} / \text{kg K}$.

PROCESO ISOTERMICO

Un proceso isotérmico es aquel en el que la transferencia de calor hacia un sistema o proveniente de él se efectúa a temperatura constante. Considere un sistema cerrado, como en el mostrado en la figura 2.10, el cual está contenido dentro de un cilindro que tiene un pistón sin fricción. La presión dentro del sistema cerrado es constante y esta determinada por el peso que hay sobre el pistón. Si el sistema cerrado contiene 1 kg de agua a punto de ebullición para la presión dada, entonces cualquier adición al sistema ocasionará que el agua se evapore. Como resultado de ello, el vapor ocasionará que el pistón se mueva hacia arriba, efectuando trabajo sobre el entorno. Como la presión es constante, la temperatura a la que se lleva a cabo la evaporación será constante y el proceso es isotérmico.

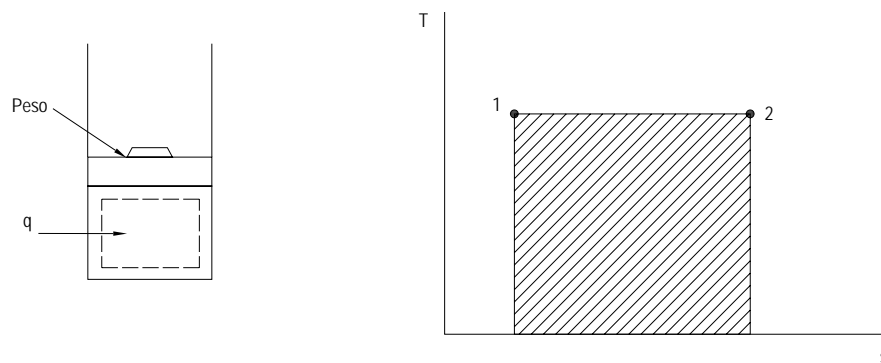


FIGURA 2.10. Sistema realizando un sistema isotérmico

El proceso se muestra en el diagrama $T-s$ como una línea horizontal entre los puntos 1 y 2. Si se elimina la entrada de calor y se permite que el sistema rechace calor del entorno, el vapor se condensará y el proceso se invertirá del estado en el punto 2 al estado en el punto 1. En consecuencia el calor rechazado hacia el entorno también igualará la adición de calor “ q ”. Como el proceso isotérmico de 1 a 2 es reversible, se desprende que el área bajo la línea 1-2 sobre el diagrama $T-s$ es igual a la cantidad de calor transferido, “ q ”.

PROCESO ADIABATICO

Un proceso adiabático es aquel en el que no hay transferencia de calor hacia un sistema o proveniente de él durante un proceso. Esto se puede lograr de cualquiera de dos maneras.

1. Manteniendo la temperatura del fluido dentro del sistema a la misma temperatura del entorno.
2. Aislando el sistema de manera que la transferencia de calor a través de la frontera sea despreciable.

Las dos maneras de lograr un proceso adiabático se consideran con mayor detalle en el siguiente esquema (figura 2.11 a). El sistema cerrado esta contenido dentro de un cilindro y un pistón sin fricción. Si el fluido dentro del sistema cerrado es un liquido que se evapora a presión constante, la temperatura dentro del sistema T_i será constante. Si T_i es igual a la temperatura del entorno T_0 no hay diferencia a través de la frontera y por tanto no puede llevarse acabo la transferencia de calor.

Esta situación es por completo factible si el fluido dentro del sistema cerrado es, digamos, un refrigerante en ebullición, ya que estos fluidos pueden hervir a temperatura ambiente siempre y cuando la presión dentro del sistema sea mayor que la atmosférica.

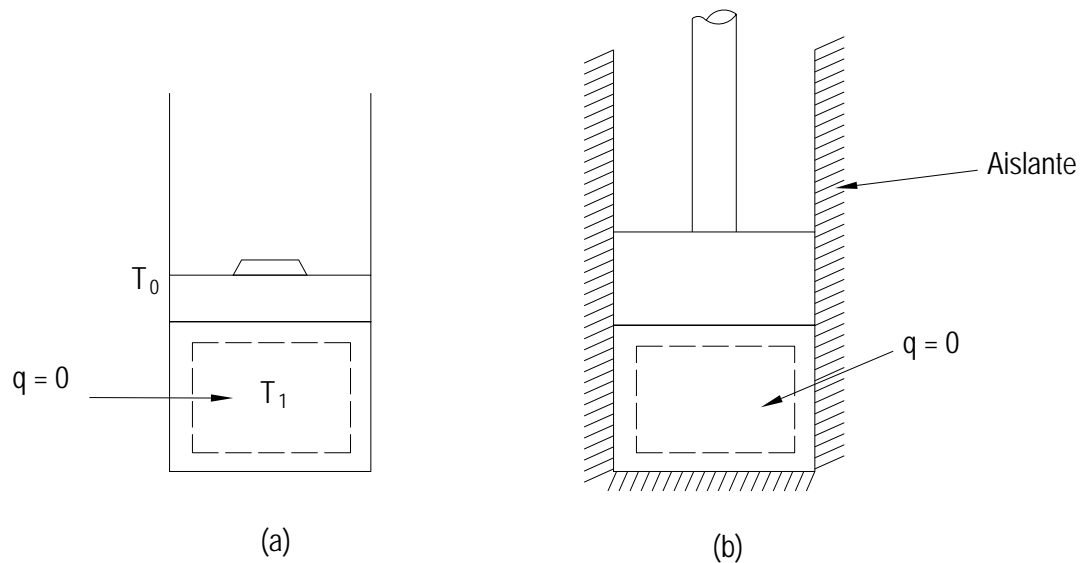


FIGURA 2.11. Cómo lograr un proceso adiabático

El sistema cerrado de la figura 2.11 (b) representa una situación adiabática general porque, sin importar qué fluido se encuentre dentro del sistema, se puede suponer que el aislante evita la transferencia de calor entre el entorno y el sistema.

2.2. DESTILACION

La destilación es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. La destilación sirve, además de para la recuperación de disolventes y otros líquidos valiosos, para la separación de mezclas de líquidos y muchas veces hace posible la preparación de líquidos en alto grado de pureza aprovechando sus distintas volatilidades.

Para destilar un líquido se le calienta a ebullición en una caldera (1), se llevan los vapores por una conducción (2) al refrigerante (3), cuyo tubo está rodeado de agua fría u otro líquido refrigerante adecuado y así el vapor se condensa de nuevo a líquido, que fluye al colector (4) (Figura 2.12).

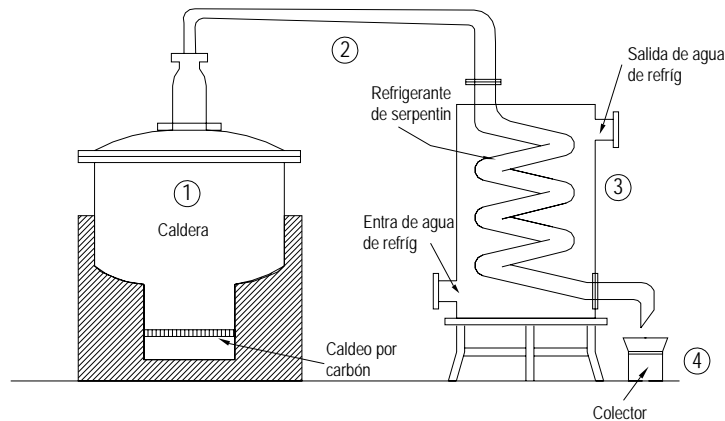


FIGURA 2.12. Proceso de destilación

Procediendo de este modo solamente se pueden purificar o recuperar líquidos que contengan como acompañantes sustancias difícilmente volátiles. Si se trata de separar dos o más líquidos de volatilidades no muy distintas, se presentan dificultades considerables que se deben a las poco diferentes presiones de vapor. Si la diferencia en volatilidad (y por tanto en punto de ebullición) entre los dos componentes es grande, puede realizarse fácilmente la separación completa en una destilación individual.

El agua del mar, por ejemplo, que contiene un 4% de sólidos disueltos (principalmente sal común), se puede purificar con facilidad evaporando el agua, y condensando después el vapor para recoger el producto: agua destilada. Para la mayoría de los propósitos, este producto es equivalente al agua pura, aunque en realidad contiene algunas impurezas en forma de gases disueltos, siendo la más importante el dióxido de carbono. Así la desalinización es un proceso que utiliza el principio de destilación para extraer la sal del agua de mar.

El agua se calienta y se bombea a un tanque de baja presión, donde se evapora parcialmente. A continuación, se condensa el vapor formado por esta evaporación súbita y se extrae como agua pura. El proceso se repite varias veces. El líquido restante, llamado salmuera, contiene una gran cantidad de sal, y a menudo se extrae y se procesa para obtener minerales.

Otro ejemplo importante es la separación de agua, que hierve a 100 °C, y alcohol, que hierve a 78,5 °C. Si se hierve una mezcla de estos dos líquidos, el vapor que sale es más rico en alcohol y más pobre en agua que el líquido del que procede, pero no es alcohol puro. Con el fin de concentrar una disolución que contenga un 10% de alcohol para conseguir una disolución que contenga un 50% de alcohol el destilado ha de volver a destilarse una o dos veces más, y si se desea alcohol industrial (95%) son necesarias varias destilaciones.

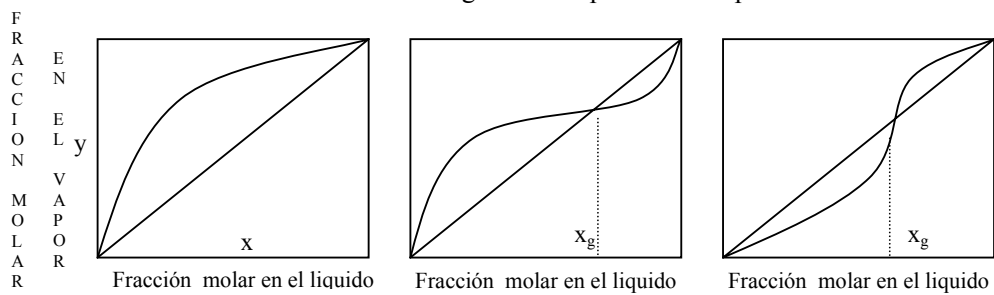
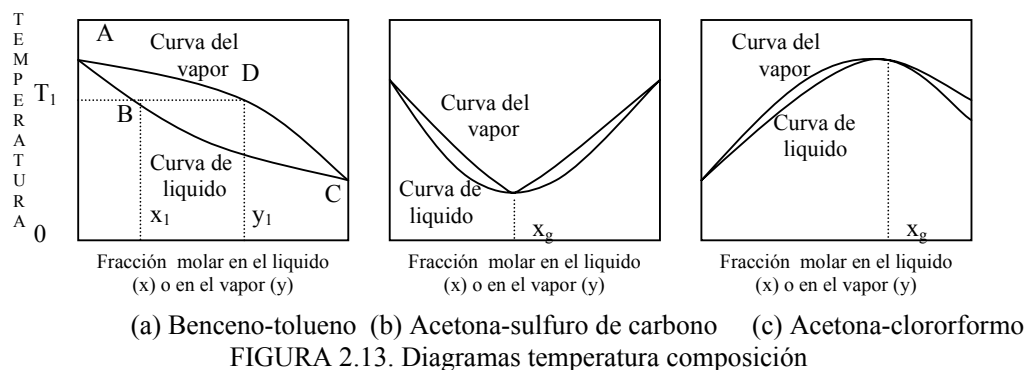
La destilación depende de parámetros como: El equilibrio liquido-vapor, temperatura, presión y composición (volatilidad relativa).

EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPOR

El equilibrio entre el vapor y el líquido de un compuesto está representado por la relación de moles de vapor y líquido a una temperatura determinada, también puede estudiarse este equilibrio a partir de sus presiones de vapor. La composición del vapor en equilibrio con un líquido de una composición dada se determina experimentalmente mediante un destilador de equilibrio. Los resultados se representan adecuadamente sobre un diagrama temperatura-composición (figura 2.13 a, b y c).

En el caso normal (figura 2.13 a) la curva *ABC* muestra la composición del líquido que hierve a una temperatura dada, y la curva *ADC* la correspondiente composición del vapor a dicha temperatura. Así, un líquido de composición x_1 hervirá a la temperatura T_1 , y el vapor en equilibrio, indicado por el punto *D*, será de composición y_1 . Podemos ver que para una composición cualquiera x del líquido, el vapor formado será más rico en el componente más volátil (siendo x la fracción molar del componente más volátil en el líquido, e y en el vapor). Ejemplos de mezclas que dan este tipo de curva son los sistemas benceno-tolueno, n-heptano-tolueno y sulfuro de carbono-tetracloruro de carbono.

En la figura 2.13 b y c, existe una composición crítica x_g en la que el vapor tiene la misma composición que el líquido, por lo que la ebullición no produce ningún cambio. Estas mezclas críticas se denominan azeotropos. Para composiciones distintas a x_g , el vapor formado tendrá una composición distinta de la del líquido. Es importante observar que estos diagramas son para condiciones de presión constante, y que la composición del vapor en equilibrio con un líquido dado cambiara con la presión. A efectos de la destilación, resulta más adecuado representar “ y ” frente a “ x ” a presión constante, ya que la mayoría de las destilaciones industriales tiene lugar a presión básicamente constante. Esto se muestra en la figura 2.14, en la que debe recordarse que la temperatura varía a lo largo de cada una de estas curvas.



VAPORIZACIÓN Y CONDENSACIÓN PARCIAL

La temperatura influye en las presiones de vapor y en consecuencia de la cantidad de energía proporcionada al sistema, también influye en la composición del vapor y el líquido ya que esta depende de las presiones del vapor.

Suponga que deber calentarse una mezcla de benceno y tolueno en un recipiente, cerrado de tal forma que la presión es constante e igual a la atmosférica pero sin que pueda escapar ninguna porción de la mezcla. Si se representa en abscisas la fracción molar del componente mas volátil (benceno) en el líquido, y en ordenadas la temperatura de ebullición de la mezcla, se obtiene entonces la curva de ebullición mostrada por *ABCJ*, en la figura 2.15. La correspondiente curva de punto de rocía *ADEJ* muestra la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de composición *y*. Si una mezcla de composición x_2 se encuentra a temperatura T_3 inferior a su punto de ebullición (T_2), tal como representa el punto G del diagrama, calentando a presión constante tendrán lugar los siguientes cambios:

- Cuando la temperatura alcance el valor T_2 , el líquido entrara en ebullición, según muestra el punto *BV*, formándose vapor de composición y_2 , representado por el punto *E*.
- Calentando aun mas, la composición del líquido variara, debida a la perdida del componente mas volátil hacia el vapor. El punto de ebullición se elevara entonces a una temperatura T' . A esta temperatura el líquido tendrá una composición representadas por el punto *L*, y el vapor una composición representada por el punto *N*. Como el sistema no pierde ningún material, habrá un cambio en la proporción entre líquido y vapor, siendo la relación.
- Calentando aun mas hasta una temperatura T_1 , todo el líquido llegara a evaporizarse dando un vapor *D* de la misma composición y_1 que el líquido original.

Como puede verse, la evaporización parcial del líquido da un vapor mas rico que el líquido en el componente mas volátil. Si el vapor inicialmente formado, por ejemplo el correspondiente al punto *E*, se separa inmediatamente por condensación, se obtiene un líquido de composición x_3 , representado por el punto *C*. El escalón *BCE* puede interpretarse como representante de un estado ideal, ya que pasa mas desde un líquido de composición x_2 a un líquido de composición x_3 , con un enriquecimiento en el componente mas volátil mayor del que puede obtenerse mediante cualquier otro grado de vaporización. Partiendo de vapor recalentado representado por el punto *H*, al enfriar hasta *D* empezara la condensación, y la primera gota de líquido tendrá la composición *K*. Un posterior enfriamiento hasta T' dará un líquido *L* y un vapor *N*. Por tanto, la condensación parcial tiene como consecuencia el enriquecimiento del vapor en el componente mas volátil, al igual que sucedía en la vaporización parcial.

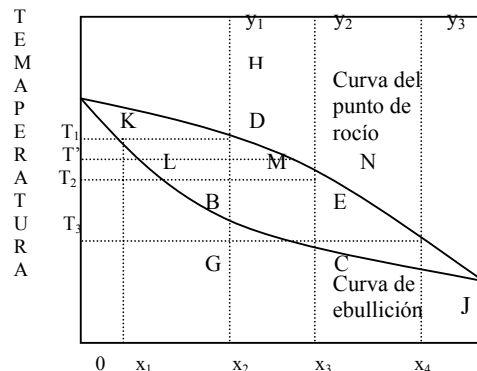


FIGURA 2.15. Efecto de la vaporización y la condensación parciales en el punto de ebullición

PRESIONES PARCIALES; LEYES DE DALTON, RAOULT Y HENRY

La presión tiene directa influencia en los puntos de ebullición de los líquidos orgánicos y por tanto en la destilación. La presión parcial P_A del componente A en una mezcla de vapores es la presión que ejercería el componente A a la misma temperatura, si estuviese presente en la misma concentración volumétrica que en la mezcla. Por la ley de Dalton, de las presiones parciales, $P = \sum P_A$, es decir, la presión total es igual a la suma de las presiones parciales. Entonces, en una mezcla ideal, la presión parcial es proporcional a la fracción molar del componente en la fase vapor:

$$P_A = Y_A P \quad (2.5)$$

La ley de Henry da una relación simple para la presión parcial desarrollada por un soluto líquido A en un disolvente líquido B , de la forma:

$$P_A = H' x_A \quad (2.6)$$

Según esta ley, la presión parcial es directamente proporcional a la fracción molar x_A del soluto en el disolvente. Esto resulta válido únicamente para disoluciones diluidas. La presión parcial se relaciona con la concentración en la fase líquida por medio de la ley de Raoult, que puede escribirse de la forma:

$$P_A = P_A^\circ x_A \quad (2.7)$$

Siendo P_A° la presión de vapor de A puro a la misma temperatura. Esta relación se cumple normalmente tan solo para elevados valores de x_A , o los correspondientes valores bajos de x_B , pero las mezclas de isómeros orgánicos y algunos hidrocarburos siguen esta ley de forma muy ajustada. Si se admite que A es el soluto y B el disolvente, entonces la ley de Henry es aplicable cuando x_A es pequeño, y la ley de Raoult cuando x_B es pequeño.

Si la mezcla sigue la ley de Raoult, la presión de vapor de una mezcla puede obtenerse gráficamente conociendo la presión de vapor de los dos componentes. Así, en la figura 2.16, OA representa la presión parcial P_A de A en una mezcla, y CB la presión parcial de B , estando representada la presión total por la línea BA . Por tanto, en una mezcla de composición D , la presión parcial P_A viene dada por DE , P_B por DF , y la presión total P por DG .

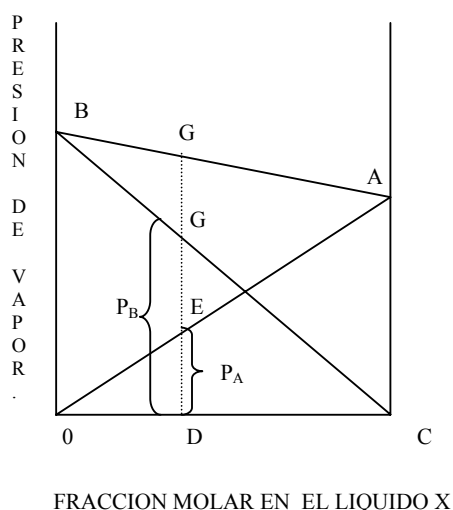


FIGURA 2.16. Presiones parciales de mezclas ideales

La figura 2.17 muestra la presión parcial de un componente *A* representada frente a la fracción molar para una mezcla no ideal. Se observara que en la zona *OC* la mezcla sigue la ley de Henry, y en *BA* sigue la ley de Raoult. Aunque la mayoría de las mezclas presentan amplias divergencias con respecto al comportamiento ideal, normalmente siguen una de ambas leyes a concentraciones muy bajas y muy altas.

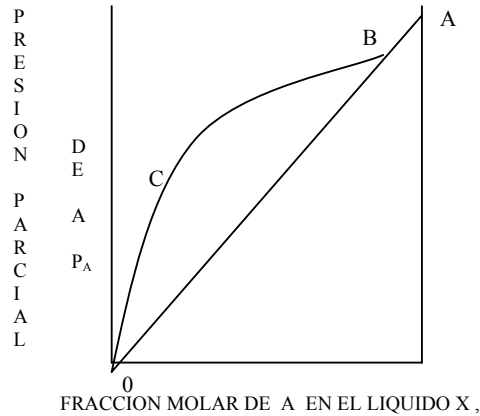


FIGURA 2.17. Presiones parciales de mezclas no ideales

VOLATILIDAD RELATIVA (α)

La composición es una consecuencia de la variación de las presiones de vapor, de la temperatura que fijan las composiciones en el equilibrio. La relación entre la composición del vapor y_A y la del líquido x_A en el equilibrio puede expresarse también de otra forma, que resulta particularmente en los cálculos de destilación. Si se define la relación entre la presión parcial y la fracción molar en el líquido como la volatilidad, entonces:

$$\text{Volatilidad de } A = \frac{P_A}{x_A} \quad \text{y la volatilidad de } B = \frac{P_B}{x_B} \quad (2.8)$$

La relación entre sus dos volatilidades se denomina volatilidad relativa (α),

$$\alpha = \frac{P_A x_B}{x_A P_B} \quad (2.9)$$

A partir de la definición de la volatilidad de un componente, puede verse que para un sistema ideal de las volatilidades numéricamente igual a la presión de vapor del componente puro. Por tanto la volatilidad relativa puede expresarse como:

$$\alpha = \frac{P_A^\circ}{P_B^\circ} \quad (2.10)$$

Si bien α varía algo con la temperatura, permanece noblemente constante o para muchos sistemas, dándose unos cuantos valores como por ejemplo en la tabla 2.1. Puede observarse que α crece a medida que disminuye la temperatura, por lo que a veces vale la pena reducir el punto de ebullición, operando a presión reducida.

TABLA 2.1. Volatilidad relativa de mezclas de benceno y tolueno

| Temperatura (K) | 353 | 363 | 373 | 383 |
|-----------------|------|------|------|------|
| A | 2,62 | 2,44 | 2,40 | 2,39 |

2.2.1. TIPOS DE DESTILACIÓN

Como ya se explico anteriormente, para una mezcla binaria, el vapor es siempre mas rico en el componente mas volátil que el liquido a partir del cual se ha formado. Hay dos tipos principales en general utilizados en la practica de la destilación que están basados en este hecho, la destilación continua y la destilación discontinua. De los cuales surgen tres métodos:

- (a) Destilación diferencial
- (b) Destilación de equilibrio
- (c) Destilación fraccionada

De éstos, la fraccionada es, con mucho, el mas importante, y difiere de los otros dos métodos en que parte del vapor es condensado y devuelto como liquido al destilador, mientras que en los otros dos, todo el vapor es separado como tal o condensado como producto.

DESTILACIÓN DIFERENCIAL

Este método es un ejemplo sencillo de destilación discontinua que consiste en una sola etapa partiendo de un calderin inicialmente lleno, calentado a velocidad constante. En este proceso, el vapor formado en la ebullición del liquido es separado inmediatamente del sistema. Como este vapor es mas rico en el componente mas volátil que el liquido, se deduce que el liquido restante queda empobrecido en este componente, alterándose progresivamente la composición del producto. Por tanto, si bien el vapor formado en un corto periodo se encuentra en equilibrio con el liquido, el vapor total formado no esta en equilibrio con el liquido residual.

Como este proceso consta únicamente de una etapa, una separación completa resulta imposible amenos que la volatilidad relativa sea infinita. Su aplicación se restringe a aquellas condiciones en las que debe efectuarse una separación preliminar antes de una destilación mas rigurosa, cuando no se requieren purzas elevadas, o cuando la mezcla se separa fácilmente.

DESTILACIÓN DE EQUILIBRIO

Este método suele llevarse a cabo frecuentemente como proceso continuo. La alimentación se introduce en el destilador donde se evapaliza en parte, permaneciendo el vapor en contacto con el liquido. La mezcla de vapor y liquido abandona el destilador, y se separa estando el vapor En equilibrio con el liquido. Este sistema es ampliamente utilizado en los destiladores de tubos de la industria del petróleo.

DESTILACIÓN FRACCIONADA

La destilación fraccionada no es nada mas que una técnica para realizar una serie completa de pequeñas separaciones, en una operación sencilla y continua. Cabe mencionar que también se puede llevar a cabo en forma discontinua.

Una columna de destilación fraccionada proporciona una gran superficie para el intercambio de calor, en las condiciones de equilibrio, que se establece entre el vapor que asciende y el liquido (condensado) que descende. Esto tiene como consecuencia una serie completa de evaporaciones y condensaciones parciales en toda la longitud de la columna de fraccionamiento. Cuando el condensado en algún punto de la columna toma calor del vapor, parte se evapaliza de nuevo y el vapor formando el mas rico en el componente mas volátil (el de menor ebullición).

Al mismo tiempo, cuando el vapor cede calor al condensado, parte del mismo se condensa, siendo este condensado mas rico en el componente menos volátil (el de mayor punto de ebullición), bajo este panorama podemos decir que partiendo de la base de la columna, a medida que aumenta la altura aumenta el enriquecimiento del componente mas volátil e inversamente con el componente menos volátil. También se establece a lo largo de la columna un gradiente de temperaturas que varían desde el punto de ebullición del componente X hasta el punto de ebullición del componente Y. Existe una influencia adicional al equilibrio termodinámico liquido-vapor, y este es el intercambio de energía (perdida) que se verifica a lo largo de la columna de fraccionamiento.

Un ejemplo especialmente interesante es la separación de acetona y agua. Ambos líquidos son miscibles en todas las proporciones. La acetona hierve a 56 °C y el agua a 100 °C, pero una mezcla de ambos líquidos lo hace entre 56 y 100 °C y el vapor que se forma contiene acetona y agua. Ciertamente, al principio se evapora siempre mas acetona que agua, pero el vapor es una mezcla de ambas. Aunque se repitiese la destilación no se podrá conseguir acetona pura, pues el agua se evapora siempre como acompañante.

Sin embargo, se puede conseguir la separación si se coloca sobre la caldera una “columna”, un tubo ancho que contiene relleno u otro dispositivo y encima un refrigerante de reflujo de manera que resulte posible una buena distribución y mezclado mutuos de la mezcla ascendente de vapores y del condensado que refluye.

Sobre la columna (1) se dispone el refrigerante (2) de manera, que el condensado que sale de él vuelva a la cabeza de la columna (3), dejando fluir al colector (4) otra parte del condensado. Ahora, la destilación tiene lugar de manera diferente. En cuanto comienza a hervir la mezcla líquida contenida en la caldera, ascienden conjuntamente vapores de agua y de acetona que calientan el material de relleno, alcanzan el refrigerante y se condensan de nuevo. Simultáneamente se controla la temperatura de la caldera y del paso de la columna al refrigerante (5). Al principio, la temperatura de este paso será considerablemente mayor de 56 °C, pues la mezcla contiene todavía vapor de agua. Por esta razón se regula el reflujo de modo que vuelva totalmente a la columna.

De la caldera asciende la mezcla de vapores calientes acetona-agua y de arriba viene en dirección contraria el condensado frío. La mezcla de vapores calientes intercambia su calor con el condensado frío y el vapor de agua se condensa completamente pero el vapor de acetona lo hace solo parcialmente.

Por consiguiente, el vapor de agua es concentrado hacia abajo por el condensado que vuelve, “el reflujo”, mientras que finalmente en la parte superior se enriquece la acetona y, si se regula correctamente, pasa a la cabeza de la columna como acetona pura. Poco después de haber comenzado la ebullición, la temperatura en la zona de paso desciende a 56 °C. Supuesto previo para esto es que la columna este protegida contra perdidas de calor por un buen aislamiento, para que el equilibrio de evaporización se establezca exclusivamente entre el reflujo y los vapores ascendentes. En cuanto se establezca este equilibrio se regula el reflujo para que pueda recogerse en el colector una parte del condensado de acetona pura. Esta parte que se extrae es la que realmente se produce y la relación entre las cantidades que se recogen y que refluyen de nuevo se llama “relación de reflujo” y varia de un caso a otro.

La separación precisa de dos líquidos por destilación solo es posible cuando se garantiza un contacto lo mas íntimo posible entre los vapores ascendentes y el reflujo, pues solo así se consigue un intercambio térmico perfecto entre la mezcla de vapores y la acetona que refluye.

Se puede considerar el fraccionamiento como un “proceso de lavado” en el que en el condensado que refluye los componentes mas volátiles obligan a considerarse al componente menos volátil, con lo que aquellos simultáneamente se evaporan. Este fraccionamiento se puede realizar en forma discontinua, es decir, se llena la caldera y se destila hasta el final, o sea, hasta la que temperatura de liquido hirviente en la caldera alcanza el punto de ebullición del componente menos volátil (en el caso que nos ocupa el del agua).

Aquí hay que interrumpir la destilación, vaciar la caldera y llenarla nuevamente con mezcla. Operando así, hay perdidas inevitables, ya que al interrumpir el proceso, el vapor de la columna con su contenido en su componente mas volátil cae de nuevo en la caldera.

Si la producción es suficientemente grande es preferible llevar el fraccionamiento en forma continua. Con este fin se dispone, en una altura previamente calculada de la columna, una entrada para la mezcla liquida por la que se puede introducir continuamente durante la destilación. Desde luego, se comienza la alimentación cuando la temperatura de la caldera es de 100 °C y la zona de paso de 56 °C, es decir, cuando se ha establecido el equilibrio en la columna. El liquido de alimentación se pasa previamente por un cambiador de calor (6) con objeto de que entre la columna ya precalentado y se aumenta el calentamiento para alcanzar los requerimientos térmicos que son ahora mas elevados. De la caldera se extrae continuamente agua (7) y del refrigerante sale, también continuamente, el reflujo (3) que retorna a la columna y el destilado (8) de acetona pura que fluye al colector. Puede suceder que no se logre una separación completa en una sola columna; en tal caso se conecta a continuación un segundo aparato para completar la separación. En principio, esto supone alargar la primera columna. Estas dos columnas se pueden llamar de producto bruto y de producto puro, respectivamente.

La única desventaja de la destilación fraccionada es que gran parte (más o menos la mitad) del destilado condensado debe volver a la parte superior de la torre y eventualmente debe hervirse otra vez, con lo cual hay que suministrar más calor. Por otra parte, el funcionamiento continuo permite grandes ahorros de calor, ya que el destilado que sale puede ser utilizado para precalentar el material que entra.

El ejemplo descrito utilizando el ejemplo de las mezclas de agua y acetona, se puede emplear con generalidad en todos los casos en que los componentes se pueden separar completamente por sus diferentes temperaturas de ebullición. Sin embargo existen mezclas de liquidos que al hervir dan una mezcla de vapores que tiene un punto de ebullición constante y que para esta temperatura tiene también una composición constante. Aquí es donde entra este tipo de destilación que se realiza de forma continua.

Un conocido ejemplo es el ácido clorhídrico. Si se calienta ácido clorhídrico diluido, destila agua hasta que la concentración de cloruro de hidrógeno en la disolución de la caldera aumente al 20%. A partir de este momento destila ácido clorhídrico con una composición constante del 20% y a 110 °C. Si se parte de un ácido clorhídrico concentrado se desprende primero cloruro de hidrógeno gaseoso, hasta que nuevamente la concentración del liquido de la caldera desciende al 20%, destilando ahora esta mezcla con temperatura de ebullición y composición constantes.

Estas mezclas de vapores que destilan a temperatura y composición constantes se denominan mezclas *azeotrópicas*. Estas mezclas pueden estar compuestas por las sustancias mas distintas y la separación de dos sustancias que forman mezcla azeotrópica es con frecuencia difícil, sobre todo en el caso de que los dos componentes son miscibles en todas las proporciones en estado liquido.

Un interesante ejemplo de **destilación azeotrópica** es la separación de acetato de etilo y agua. A temperatura ambiente se disuelve en acetato de etilo un 4% de agua. El acetato de etilo puro hierve a 78 °C y el agua a 100 °C. Si se calienta a ebullición en un aparato de fraccionamiento acetato de etilo húmedo, destila una mezcla de 8% de agua y 92% de acetato de etilo, a una temperatura de 68 °C, que tampoco es separada en la columna y pasa como mezcla de composición constante.

En la caldera no se enriquece, por consiguiente, el agua, sino el acetato de etilo a pesar de su menor punto de ebullición que es, sin embargo, superior al de la mezcla de vapores pues esta contiene doble cantidad de agua que la fase líquida (figura 2.18).

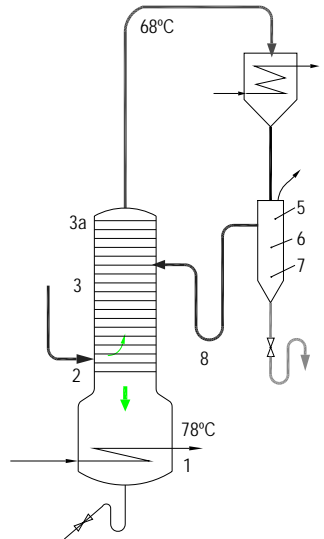


FIGURA 2.18. Destilación azeotrópica

En la caldera (1) hay acetato de etilo hirviendo. Por la conducción (2) entra continuamente acetato de etilo acuoso. En la columna (3) asciende la mezcla de 8% de agua y 92% de acetato de etilo que pasa a 68 °C al refrigerante (4) donde se condensa y flúyela separador (5). Aquí se separa el condensado en acetato de etilo acuoso con 4% de agua (6) y agua (7). El acetato de etilo acuoso refluye de nuevo (8) en la columna, donde se descompone nuevamente en el azeotropo que se evapora y acetato de etilo puro que refluye a la caldera. El agua del separador que contiene acetato de etilo disuelto se deja salir continuamente para su ulterior empleo y del mismo modo, de la caldera fluye continuamente acetato de etilo puro que pasa a un colector.

Cabe mencionar que hay muchísimos métodos de destilación, de los cuales solo explicamos los mas conocidos y mas aplicados en las industrias, ya que todos los métodos van surgiendo según los tipos de mezclas que se desean separar o purificar, es por eso que es mas fácil explicar cada método con un ejemplo en específico. Como es el caso en la destilación fraccionada, surge un tipo destilación de ésta debido al tipo de mezclas que se separan, la cual es la destilación azeotrópica. También éstos procesos pueden realizarse de manera continua o discontinua, dependiendo de nuestra aplicación. Por ejemplo muchos procesos químicos se llevan a cabo de manera discontinua, resultando mas adecuado destilar cada carga por separado además de que puede obtenerse en el proceso mas de un producto. A continuación se explican otros tipos de destilación.

DESTILACIÓN POR VAPOR

Si dos líquidos insolubles se calientan, ninguno de los dos es afectado por la presencia del otro y se evaporan en un grado determinado solamente por su propia volatilidad. Por lo tanto, dicha mezcla siempre hierve a una temperatura menor que la de cada componente por separado. El porcentaje de cada componente en el vapor sólo depende de su presión de vapor a esa temperatura. Este principio se puede aplicar a sustancias que podrían verse perjudicadas por el exceso de calor si fueran destiladas en la forma habitual. Este tipo de destilación es quizá el ejemplo más corriente de destilación diferencial. Así, cuando el material a destilar tiene un punto de ebullición elevado, y especialmente cuando puede tener lugar a la descomposición si se emplea la destilación directa, puede utilizarse el proceso de destilación por arrastre con vapor. Esta técnica sirve fundamentalmente para separar sustancias insolubles en agua y literalmente volátiles, de otros productos no volátiles mezclados con ellas.

En consecuencia, un material orgánico de alto punto de ebullición puede ser destilado por arrastre con vapor a temperaturas inferiores a 373 K a la presión atmosférica. Esto se debe a sus pesos moleculares relativamente elevados comparados con las del agua. Utilizando presiones de operación reducidas, la temperatura de destilación puede reducirse todavía más, con la consiguiente economía de vapor. Existen métodos gráficos apropiados para calcular la temperatura y la composición del vapor. Este método de destilación es un buen sustituto de la destilación al vacío, ya que la destilación se realiza a temperaturas bajas.

DESTILACIÓN AL VACÍO

Otro método para destilar sustancias a temperaturas por debajo de su punto normal de ebullición es hacer un vacío parcial en el aparato de destilación. Por ejemplo, la anilina puede ser destilada a 100 °C extrayendo el 93% del aire del alambique (aparato de destilación). Este método es tan efectivo como la destilación por vapor, pero más caro. Cuanto mayor es el grado de vacío, menor es la temperatura de destilación. Si la destilación se efectúa en un vacío prácticamente perfecto, el proceso se llama destilación molecular.

Este proceso se usa normalmente en la industria para purificar vitaminas y otros productos inestables. Se coloca la sustancia en una placa dentro de un espacio en el que se ha hecho el vacío y se calienta. El condensador es una placa fría, colocada tan cerca de la primera como sea posible. La mayor parte del material pasa por el espacio entre las dos placas, y por lo tanto se pierde muy poco.

2.2.2. APARATOS DE DESTILACIÓN

En la caldera o evaporador se calienta a ebullición la mezcla de líquidos a separar (figura 2.19). La mezcla de vapores se separa en la columna, que puede ser de dimensiones considerables. Según las cantidades de vapor, pueden tener diámetros de más de 2 metros y su altura viene condicionada por el grado de dificultad del proceso de separación. Existen columnas de hasta 30 metros de altura.

Ya que la separación de una mezcla de vapores depende de la eficacia del lavado por el condensado que refluye, es preciso conseguir que vapor y líquido se mezclen íntimamente, lo que puede conseguirse mediante distintos dispositivos en el interior de la columna.

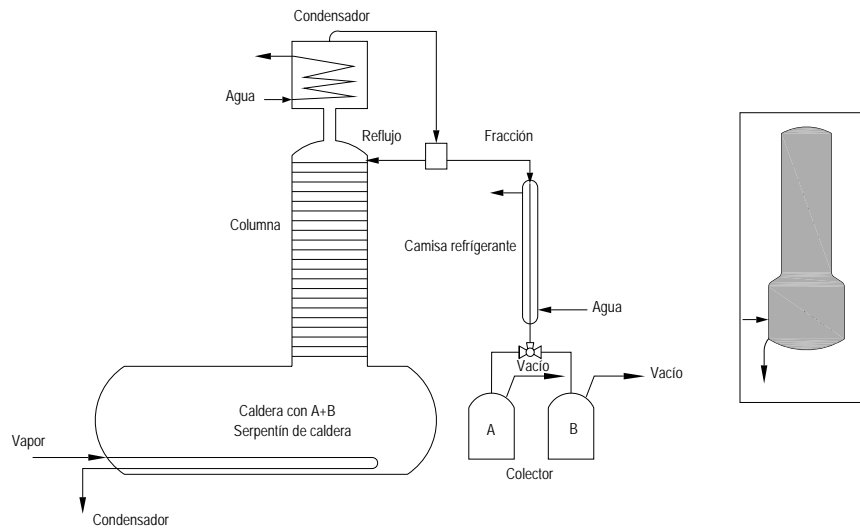


FIGURA 2.19. Aparato de fraccionamiento discontinuo

RELLENO

Las columnas se llenan con material de relleno compuesto por trozos de arcilla o de metales en forma de anillo o de silla de montar (anillos de Raschig, relleno de silla) o en aparatos de ensayo de laboratorio, con anillos de vidrio (figura 2.20). De este modo se aumenta mucho la superficie interior de la columna y el condensado que refluye se distribuye bien, así que el proceso de lavado tiene lugar con eficacia. La eficacia de un relleno depende de sus propiedades de distribución y cuanto mejores son estas tanto mejor transcurre el proceso de separación en la columna y tanto mas pequeña se puede construir esta.

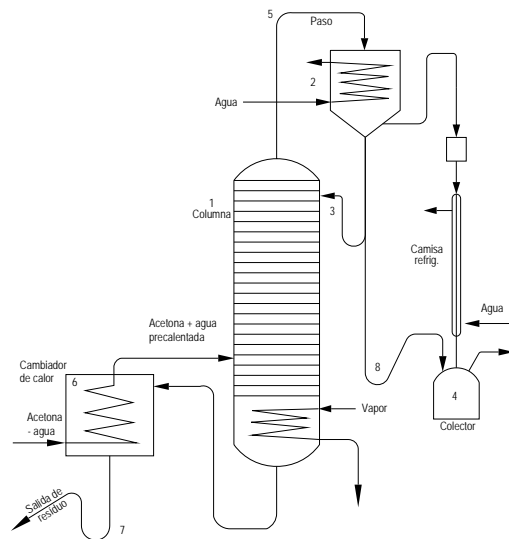


FIGURA 2.20. Aparato de fraccionamiento continuo

Columnas de platos perforados son las que están provistas con pisos perforados como tamices, a cortas distancias entre si. Los vapores procedentes de abajo pasan por los orificios y atraviesan la delgada capa del condensado que se encuentra sobre el plato. La presión de los vapores impiden que el condensado fluya y caiga a través de las perforaciones, pero puede caer al plato inferior por un rebozadero (figura 2.21).

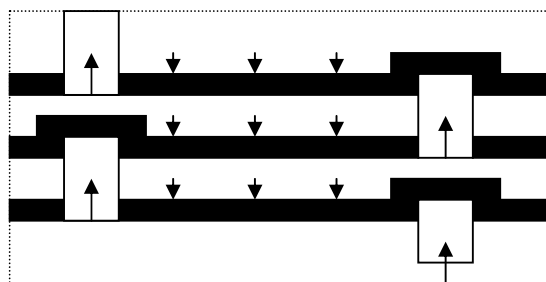


FIGURA 2.21. Platos perforados

COLUMNAS DE PLATOS BORBOTADORES

Un plato borbotador (figura 2.22) es un disco metálico exactamente adaptado a la columna, con perforaciones distribuidas por toda su superficie a las que se han soldado trozos cortos de tubo. Sobre cada trozo de tubo (1) hay una campana que se puede subir y bajar con facilidad, pero no se puede quitar completamente. En un borde del plato hay un tubo de salida (3). Tales platos se distribuyen a lo largo de toda la columna y en gran numero.

El vapor ascendente penetra por los orificios, choca contra la campana y se ve forzado a atravesar el condensado (2), con lo que se disuelve en él el componente menos volátil mientras el componente mas volátil atraviesa el condensado y además arrastra partes del componente mas volátil que estuviesen disueltas.

El condensado fluye por el tubo de salida del plato al inmediatamente inferior. De este modo, en dirección ascendente se enriquece en cada plato el componente mas volátil hasta su completa separación. Debido a su gran eficacia, las columnas de platos borbotadores son muy empleadas en la industria.

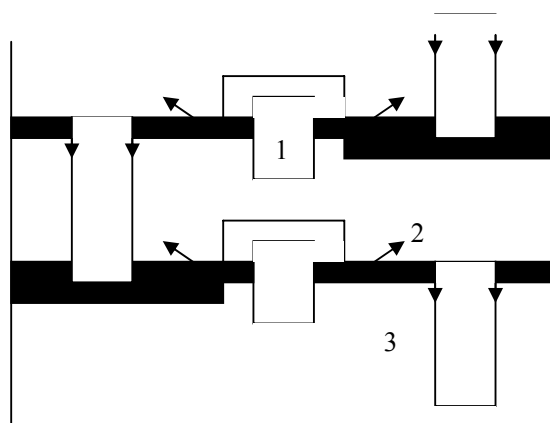


FIGURA 2.22. Platos borbotadores

2.3. SENSORES Y TRANSDUCTORES

El termino sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se esta midiendo. Por ejemplo, en el caso de un elemento para medir temperatura mediante resistencia eléctrica, la cantidad que se mide es la temperatura y el sensor transforma una entrada de temperatura en un cambio en la resistencia. Con frecuencia se utiliza el término transductor en vez de sensor. Un transductor se define como un elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Entonces, los sensores son transductores. Sin embargo, un sistema de medición puede utilizar transductores, además de sensores, en otras partes del sistema para convertir señales de una forma dada en otra distinta.

Los siguientes términos se emplean para definir el funcionamiento de los transductores y, con frecuencia, el de los sistemas de medición como un todo.

1. *Intervalo y Extensión.* El intervalo de un transductor define los límites entre los cuales puede variar la entrada. La extensión es el valor máximo de la entrada menos el valor mínimo. Por ejemplo, una celda de carga utilizada para medir fuerzas, podría tener un intervalo de 0 a 50kN y una extensión de 50kN.
2. *Error.* El error es la diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de la cantidad que se mide.

$$\text{Error} = \text{Valor medido} - \text{valor real.}$$

Así, si un sistema de medición marca un valor de temperatura de 25°C, cuando el valor real de temperatura es de 24°C, el error es de +1°C. Si la temperatura real fuera de 26°C, entonces el error seria de -1°C. El sensor puede producir un cambio en la resistencia de 10.2Ω, cuando el cambio verdadero debió ser de 10.5Ω. El error es de -0.3Ω.

3. *Exactitud.* La Exactitud es el grado hasta el cual un valor producido por un sistema de medición podría estar equivocado. Es por lo tanto, igual a la suma de todos los errores posibles mas el error en la exactitud de la calibración del transductor. Por ejemplo, si la exactitud de un instrumento para medir temperatura se especifica como un valor de ±2°C, la lectura en el instrumento estará entre +2 y -2°C del valor real. Es común expresar la exactitud como un porcentaje de la salida a intervalo total, o como una desviación a escala total. El termino en escala total se origino cuando las salidas de los sistemas de medición se presentaban casi siempre en una escala circular o lineal. Por ejemplo, la especificación de exactitud de un sensor seria ±5% de la salida en escala total; si el rango del sensor seria de 0 a 200°C, entonces puede esperarse que la lectura dada este entre +10 y -10°C de la lectura real.
4. *Sensibilidad.* La sensibilidad es la relación que indica cuanta salida se obtiene por unidad de entrada, es decir, salida /entrada. Por ejemplo, un termómetro de resistencia puede tener una sensibilidad de 0.5Ω/°C. Es frecuente también que este término se utilice para indicar la sensibilidad a otras entradas además de la que se mide, como a cambios ambientales. Entonces, puede haber sensibilidad del transductor a los cambios en la temperatura ambiente, o quizás a las fluctuaciones en el suministro de voltaje de la línea de alimentación. Puede decirse que un transductor para medir tiene sensibilidad de ±0.1% de la lectura por °C del cambio de la temperatura.

5. *Error por Histéresis.* Los transductores pueden producir distintas salidas de la misma cantidad medida según si el valor se obtuvo mediante un cambio por incremento continuo o por decremento continuo. Este efecto se conoce como Histéresis. La figura 2.23 muestra una salida de este tipo, donde el error por histéresis es la diferencia máxima en la salida obtenida a partir de valores de incremento y decremento.

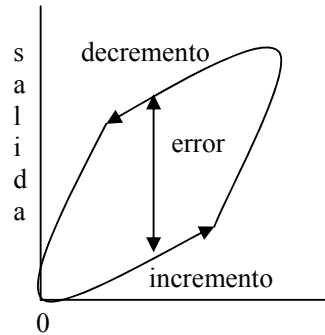


FIGURA 2.23. Histéresis.

6. *Error por no linealidad.* Para muchos transductores se supone que en su intervalo de funcionamiento la relación entre la entrada y la salida es lineal, es decir, la grafica de la salida contra la entrada produce una línea recta. Sin embargo, son pocos los transductores en los que la relación anterior es realmente una línea recta, por ello, al suponer la existencia de esta linealidad se producen errores. Este error se define como la desviación máxima respecto a la línea recta. Para expresar numéricamente el error por no linealidad se utilizan varios métodos. Las diferencias ocurren al determinar la relación de la línea recta respecto a la cual se especifica el error. Un método consiste en dibujar la recta que une los valores de salida en los puntos extremos del intervalo, otro es determinar la recta por el método de mínimos cuadrados, a fin de calcular que línea se adapta mejor considerando que todos los valores tienen la misma probabilidad de error, otro más es conectar la línea recta con el método de mínimos cuadrados para determinar el mejor ajuste que también pase por el punto cero.
7. *Repetibilidad/reproducibilidad.* Los términos repetibilidad y reproducibilidad se utilizan para describir la capacidad del transductor para producir la misma salida después de aplicar varias veces el mismo valor de entrada. Se dice que un transductor para medir la velocidad angular tiene una repetibilidad de $\pm 0.01\%$ del intervalo total a una velocidad angular determinada.
8. *Estabilidad.* La estabilidad de transductor es su capacidad para producir la misma salida cuando se usa para medir una entrada constante en un periodo. Para describir el cambio en la salida que ocurre en el tiempo, se utiliza el término DERIVA. La deriva se puede expresar como un porcentaje del intervalo total de salida. El término deriva del cero se refiere a los cambios que se producen en la salida cuando la entrada es cero.
9. *Banda/tiempo muerto.* La banda muerta o espacio muerto de un transductor es el intervalo de valores de entrada para los cuales no hay salida. Por ejemplo, la fricción de rodamiento de un medidor de flujo con rotor significa que no se produce salida hasta que la entrada alcanza cierto umbral de velocidad. El tiempo muerto es el lapso que transcurre desde la aplicación de una entrada hasta que la salida empieza a responder y cambiar.

10. *Resolución.* Cuando la entrada varía continuamente en todo el intervalo, las señales de salida de algunos sensores puede cambiar en pequeños escalones. Un ejemplo es el potenciómetro con devanado de alambre: la salida aumenta escalonada conforme el cursor del potenciómetro pasa de una vuelta del devanado a otra. La resolución es el cambio mínimo del valor de entrada capaz de producir un cambio observable en la salida. Por ejemplo, la resolución de un potenciómetro con devanado de alambre podría ser 0.5° , o quizás un porcentaje de la desviación en escala total. Para sensores con salida digital, el cambio mínimo de la señal de salida sería de 1 bit. Por lo tanto, un sensor que produzca una palabra de datos de N bits, es decir, un total de 2^N bits, la resolución se expresa como $\frac{1}{2} N$.
11. *Impedancia de Salida.* Cuando un sensor que produce una salida eléctrica se enlaza o conecta con un circuito electrónico, es necesario conocer la impedancia de salida ya que esta se va a conectar en serie o en paralelo con dicho circuito. Al incluir el sensor, el comportamiento del sistema con el que se conecta podría modificarse de manera considerable.

Para ejemplificar lo anterior considere el significa de las siguientes especificaciones de un transductor de presión de galgas extensométricas.

Intervalos: 70 a 1000kPa, 2000 a 70 000kPa
 Voltaje de alimentación: 10 Vcd 0 ca, rms
 Salida a intervalo total. 40mV
 Alinealidad e Histéresis: $\pm 0.5\%$ de la salida a intervalo total
 Intervalo de temperatura: -5°C a $+120^\circ\text{C}$ en operación
 Deriva del cero térmica: 0.030% de la salida a intervalo total/ $^\circ\text{C}$

El intervalo anterior indica que el transductor sirve para medir presiones entre 70 y 1000kPa, o 2000 y 70000kPa. Para operar requiere de una fuente de alimentación de 10Vcd 0 ca rms, produce una salida de 40mV cuando la presión en el intervalo inferior es de 1000kPa y cuando es de 70000kPa en el intervalo superior. Este transductor se puede utilizar entre -54 y 120°C de temperatura. Cuando la temperatura cambia en un 1°C , la salida del transductor correspondiente a una entrada cero cambia 0.030% de $1000=0.3\text{kPa}$ en el intervalo inferior y 0.030% de $70000= 21\text{kPa}$ en el intervalo superior.

2.3.1. CARACTERISTICAS ESTATICAS Y DINAMICAS

Las características estáticas son los valores obtenidos cuando se presentan condiciones de estado estable, es decir, valores obtenidos una vez que el transductor se asienta después de recibir cierta entrada. La terminología anterior se refiere a este tipo de estado. Las características dinámicas se refiere al comportamiento entre el momento en que cambia el valor de entrada y el tiempo en que el valor dado por el transductor logra su valor de estado estable. Las características dinámicas se expresan en función de la respuesta del transductor a entradas con determinadas formas.

Por ejemplo, en una entrada tipo escalón, la entrada cambia bruscamente de 0 a un valor constante; en una entrada tipo rampa, la entrada se modifica a velocidad constante; o en una entrada senoidal con una frecuencia determinada.

1. *Tiempo de respuesta.* Es el tiempo que transcurre después de aplicar una entrada constante, una entrada escalón, hasta que el transductor produce una salida correspondiente a un porcentaje especificado, como 95% del valor de la entrada. Por ejemplo, si un termómetro de mercurio en tubo de vidrio se pone en un líquido caliente transcurrirá un lapso apreciable, quizás 100s o más, antes de que el termómetro indique 95% de la temperatura real de líquido.
2. *Constante de tiempo.* Es el 63.2% del tiempo de la respuesta. La constante de tiempo de un termopar en el aire podría ser de 40 a 100s. la constante de tiempo es una medida de la inercia del sensor y de que tan pronto reaccionara a los cambios en su entrada; cuando mayor sea la constante de tiempo más lenta será su reacción ante una señal de entrada variable.
3. *Tiempo de levantamiento.* Es el tiempo que requiere la salida para llegar a un porcentaje especificado de la salida en estado estable. Es común que el tiempo de levantamiento se refiera al tiempo que tarda la salida en subir de 10% a 90% o 95% del valor en estado estable.
4. *Tiempo de Asentamiento.* Es el tiempo que tarda la salida en alcanzar un porcentaje de un valor determinado. Por ejemplo, 2% del valor en estado estable.

Para ilustrar lo anterior tabla 2.2 y 2.3, se consideran los siguientes datos sobre como cambiaron con el tiempo las lecturas de un instrumento, obtenidas en un termómetro hundido en un líquido en el tiempo $t=0$. Se requiere 95% del tiempo de la respuesta.

TABLA 2.2

| | | | | | | | |
|------------|----|-----|----|----|-----|----|-----|
| Tiempo (s) | 0 | 330 | 60 | 90 | 120 | 15 | 180 |
| Temp.(°C) | 20 | 28 | 34 | 39 | 43 | 46 | 49 |

TABLA 2.3

| | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tiempo (s) | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
| Temp.(°C) | 51 | 53 | 54 | 55 | 55 | 55 |

2.3.2. PRESION DE FLUIDOS

En muchos dispositivos utilizados para monitorear la presión de fluidos en procesos industriales se monitorea la deformación elástica de diafragmas, capsulas, fuelles y tubos. Los tipos de mediciones que se necesitan son: presión absoluta donde la presión se mide con respecto a una presión cero, es decir, el vacío; presión diferencial donde se mide una diferencia de presiones y presión manométrica, donde la presión se mide en relación con la presión barométrica.

En un diafragma (figura 2.24 a y b) hay una diferencia de presión entre ambas caras, por lo que el centro del diafragma se desplaza. Un diafragma corrugado ofrece mayor sensibilidad.

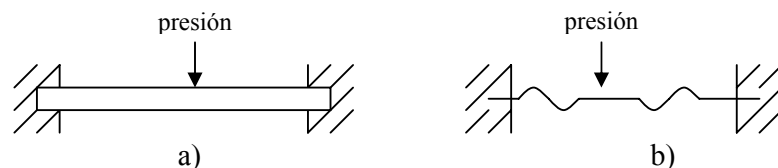


FIGURA 2.24. Diafragmas: a) plano; b) corrugado

El movimiento del diafragma se puede monitorear por un sensor de desplazamiento que puede ser un extensómetro, como se muestra en la figura 2.25. Es frecuente utilizar extensómetros de diseño especial, con cuatro extensómetros, dos para medir el esfuerzo en la dirección de la circunferencia y dos en dirección radial. Los cuatro extensómetros se conectan de manera que formen los brazos de un puente de Wheastone. Es posible adherir los extensómetros al diafragma, pero también existe la opción de hacer un diafragma de silicio en el que los extensómetros son áreas especiales con impurezas del diafragma.

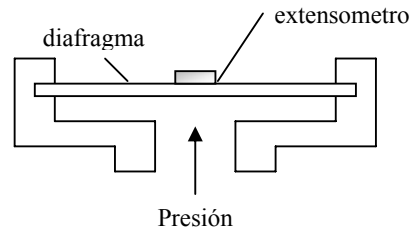


FIGURA 2.25. Extensómetro de diafragma

Otra forma de sensor de presión con diafragma de silicio es el que se usa en sensores de presión Motorola MPX. El extensómetro se integra, junto con un circuito resistivo, en un solo chip de diafragma de silicio. Cuando una corriente pasa a través del extensómetro y se le aplica una presión en ángulo recto, se produce un voltaje en dirección transversal. El sensor MPX cuenta con todo lo anterior, así como un circuito para acondicionar la señal y para compensar la temperatura. El voltaje de salida es directamente proporcional a la presión. Existen sensores como el anterior para medir presión absoluta (las terminaciones del sistema de numeración MX son A, AP, AS o ASX), presión diferencial (terminaciones D o DP) y presión manométrica (terminaciones GP, GVP, GS, GVS, GSV o GVSX). Por ejemplo, la serie MPX2100 tiene un intervalo de presión de 1000kPa y con un voltaje de 16V, cd, para las modalidades de presión absoluta y presión diferencial, da una salida de voltaje para un intervalo completo de 40mV. El tiempo de respuesta para un escalón de 0 a 100kPa es alrededor de 1.0 ms y la impedancia de salida del orden de 1.4 a 3.0kΩ. Los sensores de presión absoluta tienen diversas aplicaciones como altímetros y barómetros; los sensores de presión diferencial para medir el flujo de aire, y los sensores de presión manométrica para medir la presión en motores y llantas.

Las capsulas se pueden considerar como la combinación de dos diafragmas corrugados, que logran una sensibilidad aun mayor. Una pila de capsulas forma un fuelle. Los diafragmas, las capsulas y lis fuelles están hechos de acero inoxidable, bronce fosforado y níquel e incluso de hule y nylon, con este tipo de sensores se puede monitorear presiones en un intervalo de 10^3 a 10^8 Pa.

Una forma diferente de deformación se obtiene usando un tubo con sección transversal elíptica. Al aumentar la presión en el tubo su sección transversal se vuelve mas circular. Si este tubo tiene forma de C, que en general se conoce como tubo de Bourdon, la C se abre al aumentar la presión en el tubo. Si se utiliza la versión helicoidal de este tipo de tubo se obtiene mayor sensibilidad. Los tubos son de acero inoxidable y bronce fosforado y se usan para intervalos de presión entre 10^3 a 10^8 Pa.

2.3.3. NIVEL DE LIQUIDOS

El nivel de líquido de un recipiente se puede medir en forma directa monitoreando la posición de la superficie del líquido, o de manera indirecta midiendo alguna variable relacionada con la altura. En los métodos directos una posibilidad es usar flotadores; entre los indirectos figura el monitoreo del peso del recipiente, utilizando, por ejemplo, indicadores de presión. El peso de un líquido es igual a $Ah\rho g$. En donde A es el área transversal del recipiente, h la altura del líquido, ρ su densidad y g la aceleración de la gravedad. Por lo tanto, los cambios en la altura del líquido causan cambios en el peso. Es común que en los métodos indirectos se mida la presión en alguna parte del líquido, debido a una columna de líquido h, donde la presión es $h\rho g$, y ρ es la densidad del líquido.

FLOTADOR

Un método directo de monitorear el nivel de un líquido en un recipiente es a través del movimiento de un flotador. La figura 2.26 ilustra un sencillo sistema con flotador. Cuando el flotador se desplaza, el brazo de una palanca gira y desplaza también una parte móvil del potenciómetro. El resultado es una salida de voltaje relacionada con la altura del líquido. En otras modalidades, la palanca desplaza el núcleo de un LVDT, o estira o comprime un elemento extensómetro.

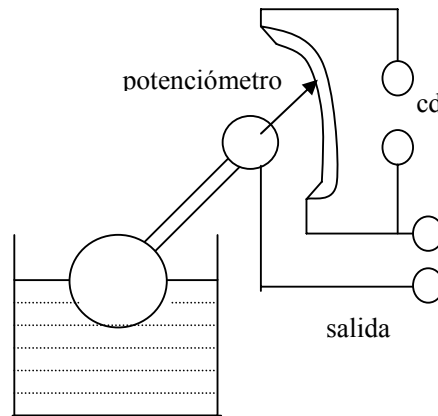


FIGURA 2.26. Sistema con flotador

PRESION DIFERENCIAL

La figura 2.27 muestra dos formas de medición de nivel basadas en la medición de una presión diferencial. En la figura 2.26 a, la celda de presión diferencial determina la diferencia de presión entre el líquido que está en la base del recipiente y la presión atmosférica, suponiendo que el recipiente está abierto y recibe la presión atmosférica. En recipientes cerrados o abiertos se puede utilizar el sistema del inciso b. La celda de presión diferencial monitorea la diferencia de presión entre la base del recipiente y el aire o gas en la superficie del líquido.

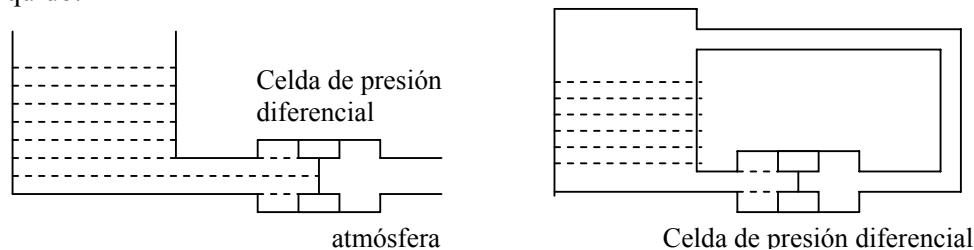


FIGURA 2.27. Empleo de un sensor de presión diferencial

2.3.4. TEMPERATURA

En general, los cambios que se utilizan para monitorear la temperatura son la expansión o contracción de sólidos, líquidos o gases, el cambio en la resistencia eléctrica de conductores y semiconductores y las fem termoeléctricas. Los siguientes son algunos de los métodos más comunes en los sistemas de control de temperatura.

TIRAS BIMETRICAS

Este dispositivo consiste en dos tiras unidas de distinto metal. Los coeficientes de expansión térmica de los metales son distintos y al cambiar la temperatura la banda conjunta se dobla y se curva; el metal con coeficiente mayor queda en la parte externa de la curva. Esta deformación puede servir como interruptor controlado por temperatura, como en el sencillo termostato que solía emplearse en los sistemas de calefacción domésticos (figura 2.28). El pequeño imán sirve para que el sensor tenga histéresis, es decir los contactos del interruptor se cierran a diferente temperatura que a la que se abren.

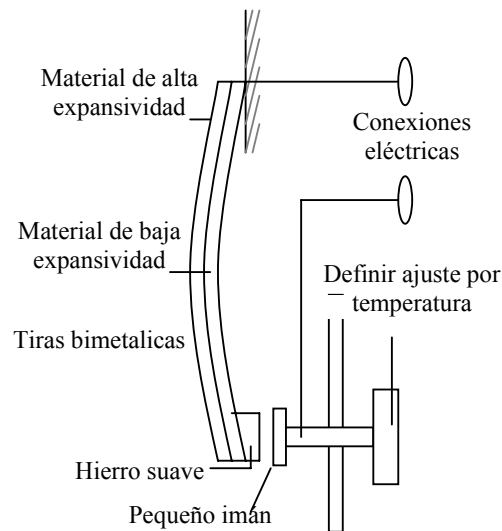


FIGURA 2.28. Termostato bimetalico.

DETECTORES DE TEMPERATURA POR RESISTENCIA

La resistencia de la mayoría de los metales aumenta, en un intervalo limitado de temperatura, de manera razonablemente lineal con la temperatura. Para este tipo de relación lineal.

$$R_t = R_0(1 + at) \quad (2.11)$$

donde R_t es la resistencia a una temperatura de $t^\circ\text{C}$, R_0 la resistencia a 0°C y a una constante para el metal denominada coeficiente de temperatura de la resistencia. Los detectores de temperatura por resistencia (RTD, resistance temperatura detectors) son elementos resistivos sencillos que adoptan la forma de bobinas de alambre hechas de platino, níquel o aleaciones níquel-cobre; el platino es el que mas se utiliza, los elementos hechos de delgadas películas de platino en general se obtienen depositando el metal en un sustrato adecuado; los elementos de bobina por lo general consisten en un alambre de platino sujeto con un adhesivo de vidrio para altas temperaturas en el interior de un tubo de cerámica. Estos detectores son muy estables y sus respuestas son reproducidas durante largos periodos. Sus tiempos de respuesta tienden a ser del orden de 0.5 a 5s, o mayores.

TERMISTORES

Los termistores son pequeñas piezas de materiales hechas con mezclas de óxidos metálicos, por ejemplo, de cromo, cobalto, hierro, manganeso y níquel. Todos estos óxidos son semiconductores. El material puede tener formas diversas como cuentas, discos y varillas. La resistencia de los termistores convencionales de óxido metálico disminuye de manera no lineal con el aumento en la temperatura. Estos termistores tienen coeficientes de temperatura negativos (CTN), aunque también los hay con coeficientes de temperatura positivos (CTP). El cambio en la resistencia por cada grado de cambio en la temperatura es mucho mayor que el que ocurre en los metales. La relación resistencia-temperatura de un termistor se puede expresar con una ecuación de la forma.

$$R_t = K e^{\beta/t} \quad (2.12)$$

Donde R_t es la resistencia de la temperatura t , y K y β son constantes. Si se comparan con otros sensores de temperatura, los termistores ofrecen muchas ventajas. Son fuertes y pueden ser muy pequeños, por lo cual permiten el monitoreo de temperaturas casi en cualquier punto. Gracias a su reducido tamaño, responden muy rápido a los cambios en la temperatura, pero su principal desventaja es su no linealidad.

TERMOPARES

Cuando dos metales diferentes se unen, en la unión se produce una diferencia de potencial. Esta depende de los materiales utilizados y la temperatura de la unión. Un termopar es un circuito completo con dos uniones de este tipo, si ambas uniones están a la misma temperatura, no existe una fem neta. En cambio, si la temperatura es diferente, se produce una fem. El valor E de esta fem depende de los dos metales utilizados y de las temperaturas t de ambas uniones. Por lo general una de ellas se mantiene a 0°C , y entonces se cumple, hasta cierto punto.

$$E = at + bt^2 \quad (2.13)$$

Donde a y b son las constantes de los materiales utilizados. En la tabla 2.4 se muestran los termopares de uso más común, los intervalos de temperatura en los que se usan y sus sensibilidades características. A estos termopares de uso común se les asignan letras de referencia. Por ejemplo, el de hierro-constantán se conoce como termopar tipo J.

Tabla 2.4 Termopares.

| Ref. | Materiales | Intervalo en $^\circ\text{C}$ | $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ |
|------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| B | Rodio/platino, platino30%, rodio6% | 0 a 1800 | 3 |
| E | Cromel/constantán | -200 a 1000 | 63 |
| J | Hierro/constantán | -200 a 900 | 53 |
| K | Cromel/alumel | -200 a 1300 | 41 |
| N | Nirosil/misil | -200 a 1300 | 28 |
| R | Platino/platino con 13% de rodio | 0 a 1400 | 6 |
| S | Platino/platino con 10% de rodio | 0 a 1400 | 6 |
| T | Cobre /constantán | -200 a 400 | 43 |

Aunque en un circuito del termopar haya otros metales, estos no tienen efecto en la fem termoeléctrica, siempre y cuando todas sus uniones estén a la misma temperatura. Es posible que la temperatura de la unión de referencia de un termopar no sea 0°C. Sin embargo, en las tablas estándar se supone que dicha unión está a 0°C, por lo que antes de usarlas habrá que hacer la relación respectiva, que se hace aplicando lo que se conoce como ley de temperaturas intermedias, a saber.

$$E_{t,0} = E_{t,I} + E_{I,0} \quad (2.14)$$

La fem $E_{t,0}$ a la temperatura t cuando la temperatura fría está a 0 °C es igual a la fem $E_{t,I}$ a la temperatura intermedia I , más la fem $E_{I,0}$ a la temperatura I cuando la unión fría está a 0°C. Con frecuencia no es conveniente mantener la unión de un termopar a 0 °C, es decir, tenerlo inmerso en una mezcla de agua y hielo. Se puede utilizar un circuito de compensación para producir una fem que varía con la temperatura de la unión fría de manera que cuando dicha fem se suma a la del termopar genera una fem combinada que es la misma que se habría generado si la unión fría hubiese estado a 0 °C. La fem de compensación se puede obtener con la caída de voltaje del termómetro de resistencia.

Los termopares de base metal E, J, K y L son más o menos baratos, pero se deterioran con el tiempo. Su exactitud característica es de ± 1 a 3%. Los termopares de metales nobles, por ejemplo R, son más caros, pero también más estables y de mayor duración. Su exactitud es del orden de $\pm 1\%$, o mejor. Por lo general los termopares están montados dentro de una cubierta que les da protección mecánica y química. El tipo de cubierta depende de las temperaturas en las que se utilizará el termopar. En algunos casos la cubierta se rellena de un mineral que sea buen conductor de calor y buen aislante eléctrico. El tiempo de respuesta de los termopares sin cubierta es muy rápido. Cuando se emplea una cubierta grande este tiempo puede aumentar en varios segundos. En algunos casos unos grupos de termopares se conectan en serie, de manera que hay 10 o más uniones calientes que detectan la temperatura; la fem de todos los termopares se suma. Este arreglo se conoce como termopila.

TERMODIODOS Y TERMOTRANSISTORES

El diodo semiconductor de unión con frecuencia se utiliza como sensor de temperatura. Cuando cambia la temperatura de semiconductores con impurezas, también se modifica la movilidad de sus portadores de carga, lo cual afecta la velocidad de difusión de electrones y huecos a través de la unión p-n. Por lo tanto, si una unión p-n tiene una diferencia de potencial V , la corriente I que circula por la unión será una función de temperatura, la cual está dada por:

$$I = I_0(e^{eV/kT} - 1) \quad (2.15)$$

Donde T es la temperatura en escala Kelvin, e la carga de un electrón y k e I_0 son constantes. Utilizando logaritmos, la ecuación anterior se puede expresar en términos del voltaje como:

$$V = \left(\frac{kT}{e} \right) \ln \left(\frac{I}{I_0} + 1 \right) \quad (2.16)$$

Así, si la corriente es constante, V es proporcional a la temperatura en la escala Kelvin, por lo que la medida de la diferencia de potencial en un diodo con corriente constante puede servir como medida de la temperatura. Este tipo de sensores es tan compacto como los termistores, pero su ventaja es de que su respuesta es una función lineal de la temperatura.

2.3.5. ELECTROVALVULAS

Estas válvulas se utilizan cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un final de carrera eléctrico, presostatos o mandos electrónicos. En general, se elige el accionamiento eléctrico para mandos con distancias extremadamente largas y cortos tiempos de conexión. Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas se dividen en válvulas de mando directo o indirecto. Las de mando directo solamente se utilizan para un diámetro luz pequeño, puesto que para diámetros mayores los electroimanes necesarios resultarían demasiado grandes.

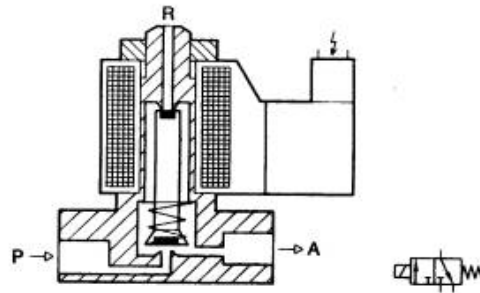


FIGURA 2.29. Válvula distribuidora 3/2 (.mando electromagnético)

Las válvulas de control neumático son sistemas que bloquean, liberan o desvían el flujo de aire de un sistema neumático por medio de una señal que generalmente es de tipo eléctrico, razón por la cual también son denominadas electroválvulas (figura 2.29) . Las válvulas eléctricas se clasifican según la cantidad de puertos (entradas o salidas de aire) y la cantidad de posiciones de control que poseen. Por ejemplo, una válvula 3/2 tiene 3 orificios o puertos y permite dos posiciones diferentes.

- 3 =Número de Puertos
- 2 = Número de Posiciones

En la figura 2.30 se puede apreciar la simbología utilizada para representar los diferentes tipos de válvulas eléctricas. El significado de las letras utilizadas en los esquemas (figura 2.29) son:

- P (Presión). Puerto de alimentación de aire
- R, S. Puertos para evacuación del aire
- A, B, C. Puertos de trabajo
- Z, X, Y. Puertos de monitoreo y control

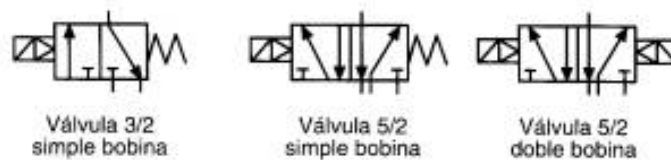


FIGURA 2.30. Símbolos de válvulas eléctricas

En la figura 2.31 aparece la ruta que sigue el aire a presión con una válvula 5/2 y un cilindro de doble efecto. La mayoría de las electroválvulas tienen un sistema de accionamiento manual con el cual se pueden activar sin necesidad de utilizar señales eléctricas. Esto se hace solamente en labores de mantenimiento, o simplemente para corroborar el buen funcionamiento de la válvula y del cilindro, así como para verificar la existencia del aire a presión.

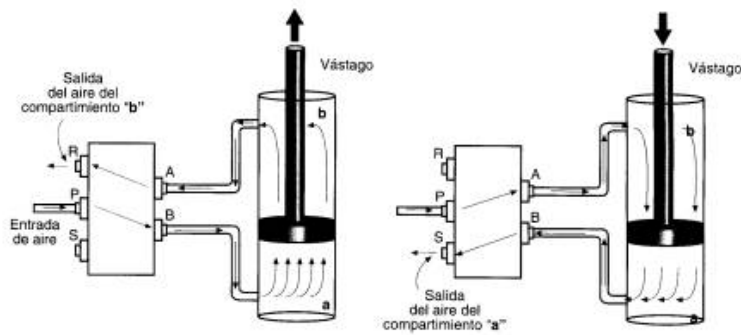


FIGURA 2.31. Rutas del fluido con una válvula de 5/2

ELECTROVÁLVULAS DE DOBLE SOLENOIDE

Existen válvulas que poseen dos bobinas y cuyo funcionamiento es similar a los flip-flops electrónicos. Con este sistema, para que la válvula vaya de una posición a la otra basta con aplicar un pequeño pulso eléctrico a la bobina que está en la posición opuesta. Allí permanecerá sin importar que dicha bobina siga energizada y hasta que se aplique un pulso en la bobina contraria. La principal función en estos sistemas es la de "memorizar" una señal sin que el controlador esté obligado a tener permanentemente energizada la bobina.

VÁLVULAS PROPORCIONALES

Este tipo de válvulas regula la presión y el caudal a través de un conducto por medio de una señal eléctrica, que puede ser de corriente o de voltaje, figura 2.32. Su principal aplicación es el control de posición y de fuerza, ya que los movimientos son proporcionales y de precisión, lo que permite un manejo más exacto del paso de fluidos.

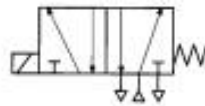


FIGURA 2.32. Válvulas proporcionales

Por medio de una válvula proporcional podemos realizar un control de posición de lazo cerrado, figura 2.33, donde el actuador podría ser un cilindro, el sensor un sistema óptico que envía pulsos de acuerdo a la posición de dicho cilindro, y el controlador un procesador que gobierne el dispositivo en general. El número de impulsos se incrementa a medida que el pistón se desplaza a la derecha y disminuye cuando se mueve a la izquierda.

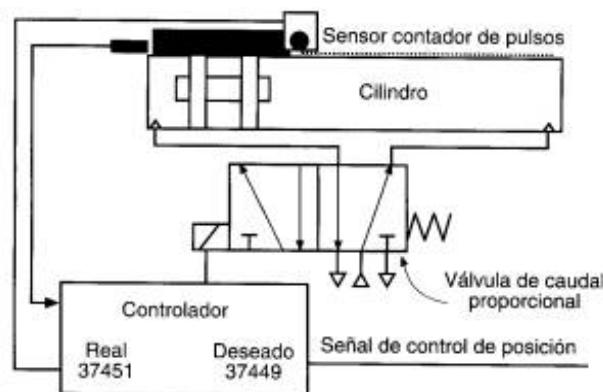


FIGURA 2.33. Control de lazo cerrado con válvulas proporcionales

2.4. CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES

Un controlador lógico programable (PLC, programmable logic controller) es un dispositivo electrónico digital (figura 2.34) que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos y que se ha diseñado específicamente para programarse con facilidad.

Este tipo de procesadores se denomina lógico debido a la programación que tiene que ver principalmente con la ejecución de operaciones lógicas y de conmutación. Los dispositivos de entrada (como interruptores) y los dispositivos de salida (como motores) que están bajo control se conectan al PLC, y después el controlador monitorea las entradas y salidas de acuerdo con el programa almacenado por el operador en el PLC con el que controla máquinas o procesos. En un principio, el propósito de estos controladores fue sustituir la conexión física de relevadores de los sistemas de control lógicos y de sincronización.

Los PLC tienen la gran ventaja de que permiten modificar un sistema de control sin tener que volver a alambrar las conexiones de los dispositivos de entrada y salida; basta con que el operador digite en un teclado las instrucciones correspondientes. También estos controladores son más rápidos que los sistemas a base de relevadores. El resultado es un sistema flexible que se puede usar para controlar sistemas muy diversos en su naturaleza y su complejidad. Tales sistemas se usan ampliamente para la implementación de funciones lógicas de control debido a que son fáciles de usar y programar.

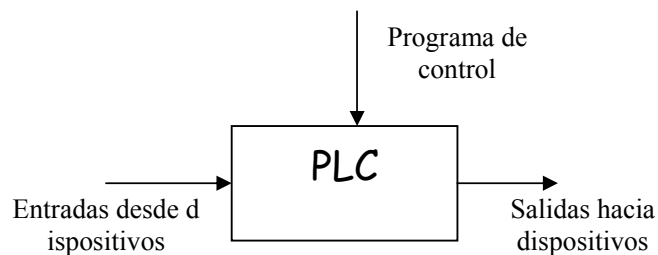


FIGURA 2.34. Controlador lógico programable

Los PLC son similares a las computadoras, pero tienen características específicas que permiten su empleo como controladores. Estas características son:

1. Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido.
2. La interfase para las entradas y las salidas está dentro del controlador.
3. Es muy fácil programarlos, así como entender el lenguaje de programación. La programación básicamente consiste en operaciones de lógica y conmutación.

Los primeros PLC fueron concebidos en 1968. Hoy su uso está muy generalizado y hay una gran variedad, desde pequeñas unidades autónomas que cuentan quizás con apenas 20 entradas y salidas, hasta sistemas modulares para manejar grandes cantidades de entradas/salidas, manejar entradas/salidas digitales y analógicas y llevar a cabo modos de control PID.

En la figura 2.35 se muestra la estructura interna básica de un PLC que en esencia, consiste en una unidad central de procesamiento (CPU) memoria y circuitos de entradas / salidas. La CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC, cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es entre 1 y 8 Mhz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Un sistema de buses lleva información y datos desde y hacia la CPU, la memoria son: una ROM para guardar en forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos; una RAM para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada / salida.

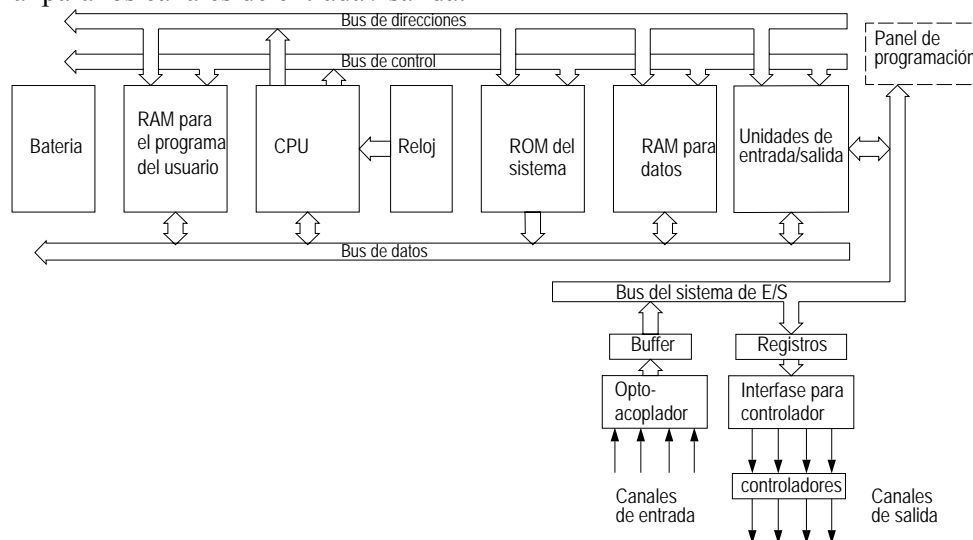


FIGURA 2.35. Arquitectura de un PLC

El usuario puede modificar los programas en la RAM. Sin embargo, para evitar que estos programas se pierdan durante una interrupción de suministro de energía eléctrica, en el PLC se utiliza una batería, para mantener el contenido de la RAM durante un periodo. Una vez elaborado un programa y guardado en la RAM, se puede cargar un chip de memoria EPROM para que quede guardado de manera permanente. Las especificaciones de PLC pequeños con frecuencia indican la capacidad de la memoria del programa en función de la cantidad de pasos de programa que es posible guardar. Un paso de programa es la instrucción para que ocurra cierto evento.

ENTRADA / SALIDA

La unidad de entrada / salida es la interfase entre el sistema y el mundo externo. Para introducir programas en esta unidad se usa un tablero, que puede variar de un pequeño teclado con pantalla de cristal líquido, a los que usan unidades de presentación visual (VDU, visual display unit) con teclado y pantalla. También es posible introducir los programas al sistema mediante un enlace con una computadora personal (PC) que se carga con un paquete de software apropiado.

Los canales de entrada / salida proporcionan funciones para el acondicionamiento y aislamiento de señales, lo que permite conectarlos directamente a sensores y actuadores, sin necesidad de otros circuitos. Los voltajes de entrada comunes son 5 v y 24 v. Los voltajes comunes de salida son 24 v 240 v

2.4.1. PROCESAMIENTO DE LA ENTRADA / SALIDA

La forma básica de programación más común en los PLC es la programación en lenguaje de escalera. Esta especifica cada una de las tareas de un programa como si fuera los escalones de una escalera. La secuencia que sigue un PLC para realizar se resume de la siguiente manera:

1. Explorar las entradas asociadas a un escalón del programa de escalera.
2. Resolver la operación lógica que involucra esas entradas.
3. Encender / apagar las salidas de ese escalón.
4. Continuar con el siguiente escalón repetir los pasos 1,2 y 3.
5. Continuar con el siguiente escalón repetir los pasos 1,2 y 3.
6. Continuar con el siguiente escalón repetir los pasos 1,2 y 3.

Y así sucesivamente, hasta finalizar el programa.

Los escalones del programa en lenguaje escalera se exploran de acuerdo con las secuencia respectiva.

Existe dos métodos para el procesamientote entradas / salidas.

1. Por actualización continua.

En este caso, la CPU explora los canales de entrada de acuerdo con la secuencia del programa. Cada punto de entrada se revisa por separado y se determina su efecto en el programa. Existe un retardo inherente, por lo general de unos 3 ms, cuando se revisa cada una de las entradas para garantizar que el microprocesador sólo lea señales de entradas válidas. Este retardo evita que el microprocesador cometa el error de contar una señal de entradas dos o más veces, si hay rebotes de los contactos en el interruptor. Antes de que el programa envíe la instrucción para ejecutar una operación lógica y se produzca una salida, se exploran varias entradas, cada exploración con un retardo de 3 ms. Las salidas que quedan retenidas de manera que su estado se mantiene hasta la siguiente actualización.

2. Copiado masivo de entradas.

Dado que con las actualizaciones continua se produce un retardo de 3 ms por cada entrada, el tiempo total para revisar cientos de puntos de entrada / salida puede ser comparativamente largo. Para que el programa se ejecute más rápido, un área específica de la RAM se utiliza como memoria intermedia o buffer entre la unidad de lógica de control y la unidad de entrada / salida. Cada entrada / salida tiene una dirección en esta memoria. Al inicio de cada ciclo de programa, la CPU muestra todas las entradas y copia sus estados en las direcciones de entrada / salida de la RAM. Conforme se ejecuta el programa, se leen los datos de entrada guardados en la RAM, según se requiera y se ejecutan las operaciones lógicas. Las señales de salida producidas se guardan en laxación reservada para entrada / salida en la RAM. Al término de un ciclo de programa, las salidas se envían de la RAM a los canales de salida. Las salidas quedan retenidas para que conserven su estado hasta la siguiente actualización.

2.4.2. PROGRAMACION

La programación de un PLC basada en diagramas de escalera consiste en la elaboración de un programa de manera similar a como se dibuja un circuito de contactos eléctricos. El diagrama de escalera tiene dos líneas verticales que representan las líneas de alimentación. Los circuitos se disponen como líneas horizontales, es decir, como escalones de una escalera, sujetos entre las dos líneas verticales. La figura 2.36 muestra los símbolos estándares básicos que se utilizan, así como un ejemplo de escalones en un diagrama de escalera. Cuando se dibuja la línea de circuito de un escalón, las entradas siempre preceden a las salidas y debe haber por lo menos una salida por cada línea. Los escalones deben empezar con una o varias entradas y terminar con una salida. Las entradas y las salidas están numeradas y la notación utilizada depende del fabricante del PLC.

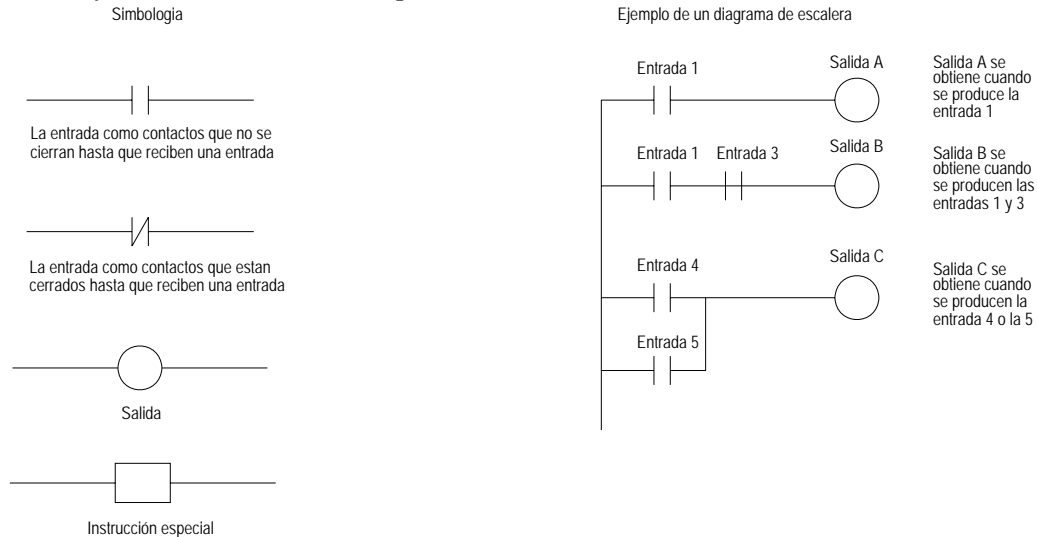


FIGURA 2.36. Diagrama tipo escalera

ENCLAVAMIENTO

Con frecuencia se presenta situaciones en las que es necesario mantener energizada una bobina, aun cuando ya no exista la entrada que proporciona la energía. Para lograrlo se utiliza lo que se conoce como circuito de enclavamiento. Este es un circuito de autosostenimiento, ya que después de ser energizado mantiene ese estado hasta que recibe otra entrada. Es decir, recuerda su último estado.

La figura 2.37 muestra un circuito de enclavamiento. Cuando la entrada 1 se energiza y se cierra, se produce una salida. Sin embargo, cuando hay una salida el contacto asociado a ella se energiza y se cierra. Entonces, aun cuando el contacto de la entrada 1 se abra el circuito mantendrá energizada la salida. La única manera de liberar la salida es accionando el contacto de la entrada 2 el cual en general está cerrado.

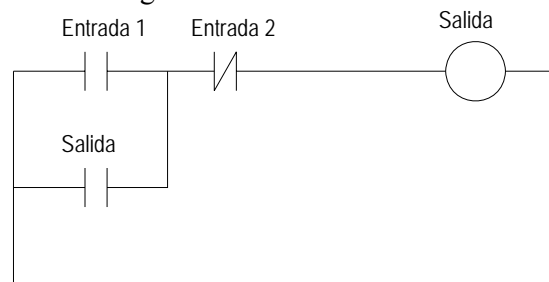


FIGURA 2.37. Circuito de enclavamiento

TEMPORIZADORES

Para especificar un circuito de temporización hay que indicar cuál es el intervalo de temporización, así como las condiciones o eventos que producirán la activación y paro del temporizador. En términos generales, es posible establecer un símil entre temporizadores y relevadores con bobinas, que cuando se energizan, cierran o abren contactos después del tiempo preestablecido. La figura 2.38 muestra parte de un programa que incluye un temporizador de retardo a la activación. Cuando se recibe una entrada, se activa el temporizador y se inicia la temporización. Después de un tiempo establecido, los contactos asociados con el temporizador se cierran y se produce la salida.

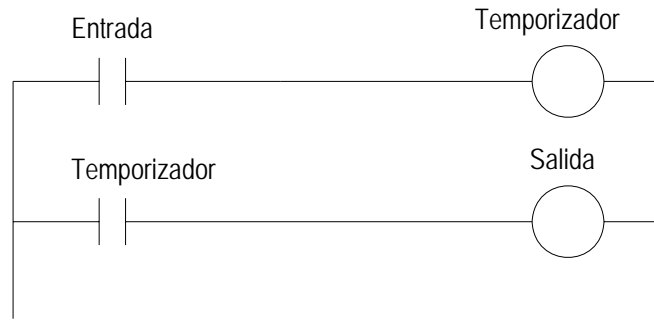
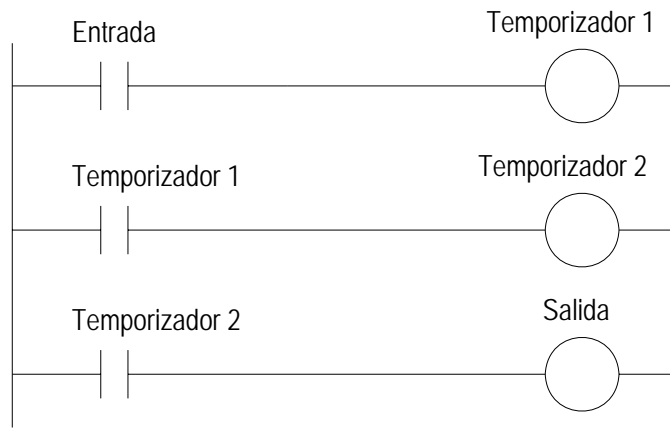


FIGURA 2.38. Temporizador (con retardo a la activación)

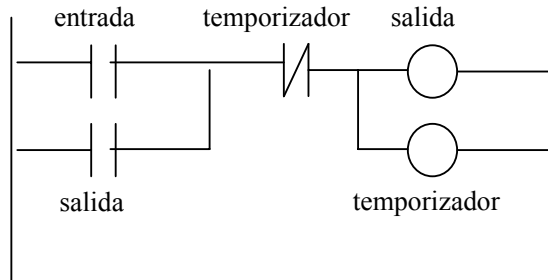
Para lograr tiempo de retardo mayores que los que se pueden obtener con un solo temporizador, se conectan entre si varios temporizadores, estos se conocen como conexión en cascada, ver figura 2.39. Aquí se muestra un arreglo en cascada, cuando los contactos de entrada se cierran se activa el temporizador 1, después de un tiempo de retardo, su contacto se cierran y se activa el temporizador 2. Después del tiempo de retardo, se cierra su contacto y se genera una salida.



2.39. Temporizadores en cascada

Por lo general los PLC solo tiene temporizadores de retardo a la activación (figura 2.38), es decir, que se activan después de cierto tiempo de retardo.

La figura 2.40 muestra como diseñar un temporizador con retardo a la desactivación, esto es, un temporizador que interrumpe la energía alimentada por una salida en cuanto transcurre el tiempo de retardo. Cuando el contacto de entrada se cierra por un momento, se entrega energía en la salida y se activa el temporizador. Los contactos de salida retienen el valor de la entrada y mantienen activa la salida. Después del tiempo establecido del temporizador, éste se activa, abre el circuito de enclavamiento, y apaga la salida.

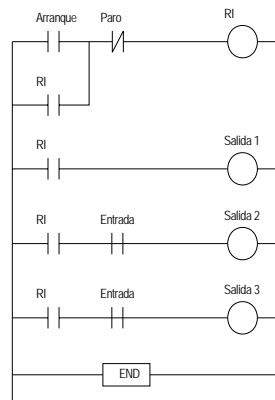


2.40. Temporizador con retardo a la desactivación

RELEVADORES INTERNOS

Los términos relevadores internos, relevadores auxiliar o marcador se refiere a todo lo que se puede considerar un relevador interno del PLC, si bien esto se comportan como relevadores con sus respectivos contactos, en realidad no son verdaderos contactos, sino simulaciones del software del PLC, algunos tienen respaldo de baterías y se emplean en circuitos para garantizar la seguridad en el corte de energía en un aplanta cuando hay una interrupción del suministro eléctrico. Los relevadores internos son muy útiles en la implantación de secuencias de conmutación.

Los relevadores internos se utilizan con frecuencia en programas con muchas condiciones de entrada. Una de las muchas aplicaciones se muestra en la figura 2.41, cuando el contacto de arranque se cierra se activa el relevador interno y éste retiene la señal de entrada. También activa la salida 1 y permite la activación de la salidas 2 y 3.



Activación de varias entradas.

Figura 2.41. Activación de varias entradas

CONTADORES

Los contadores se usan cuando es necesario contar las veces que se acciona un contacto. Por ejemplo cuando los artículos que transporta una banda se depositan en una caja y cuando el siguiente artículo debe depositar en otra caja. Los circuitos adecuados para contar son una característica interna de los PLC. En la mayoría de los casos, el contador funciona como un contador regresivo. Es decir, el contador va disminuyendo su valor a partir de un valor preestablecido, hasta cero; los eventos se restan de un valor inicial. Cuando llega a cero, el contacto del contador cambia de estado. Un contador progresivo, el conteo aumenta hasta un valor predeterminado; es decir los eventos se suman hasta llegar a el valor deseado. Cuando se alcanza, el contacto del contador cambia de estado.

La figura 2.42a muestra un programa básico de conteo. En un diagrama de escalera el contador se representa por un rectángulo que abarca dos líneas. En unas de ellas se encuentra la señal de reinicio del contador. La otra es la línea de salida y el K10 indica que el contacto del contador modificara su estado en el décimo pulso. Cuando el contacto de la entrada 1 se cierra por un momento, se restablece el valor preestablecido del contador. El contador procede a contar el número de pulsos que produce la apertura y cerrado del contacto de la entrada 2. Cuando este conteo llega al valor preestablecido, en este caso 10, se cierra el contacto del contador. La salida se enciende después de 10 impulsos de la entrada 2. Si en algún momento del conteo el contacto de entrada 1 se cierra por un momento, el contador reestablecerá el conteo a 10. La figura 2.42 b muestra un ejemplo.

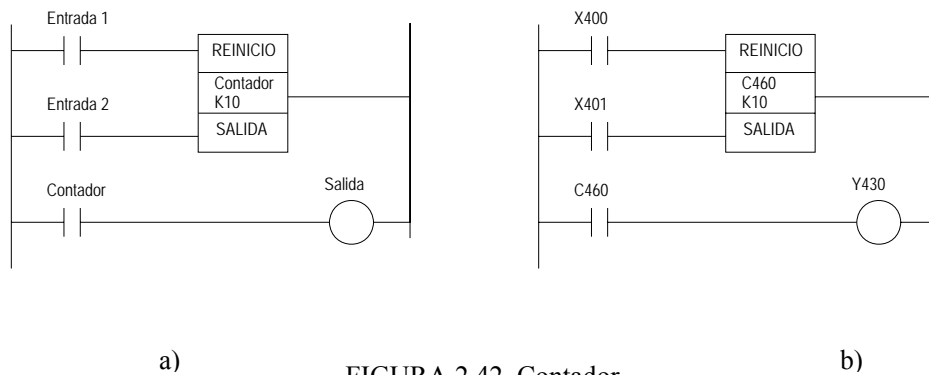


FIGURA 2.42. Contador

2.4.3. SELECCION DE UN PLC

Al evaluar la capacidad y el tipo de PLC necesario para llevar a cabo una tarea, los factores que se deben tener en cuenta son:

1. ¿Qué capacidad de entrada / salida se requiere?, es decir, la cantidad de entradas / salidas, la capacidad de expansión para necesidades futuras.
2. ¿Qué tipo de entradas / salidas se requieren?, esto es, tipo de aislamiento, fuente de alimentación incluida para entradas / salidas, acondicionamiento de señal, etc.
3. ¿Qué capacidad de memoria se necesita? Esto tiene relación con la cantidad de entradas / salidas y la complejidad del programa.
4. ¿Qué velocidad y capacidad debe tener la CPU? Esto tiene relación con cuantos tipos de instrucciones maneja el PLC. Cuantos mas tipos haya, mas rápida deberá ser la CPU. Asimismo, cuanto mayor sea la cantidad de entradas / salidas que se manejen, mas rápida tendrá que ser la CPU requerida.

CAPITULO III

“PLANTEAMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA”

3.1. PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA

Se desea diseñar un destilador de agua el cual funcione bajo el principio de compresión. Este destilador será diseñado para producir 25 galones por hora a partir de agua suavizada que contenga menos de 1 parte por millón de dureza total.

El sistema toma agua suave y entrega agua pura, agua residual y agua refrigerante. El agua con que se va a alimentar el equipo de ser filtrada y suavizada. El Destilador hierve el agua produciendo vapor, el vapor se condensa en agua pura. Las impurezas quedan en el evaporador y salen con el agua residual hacia el desagüe. En la figura 3.1 se muestra el diagrama a bloques de este proceso:

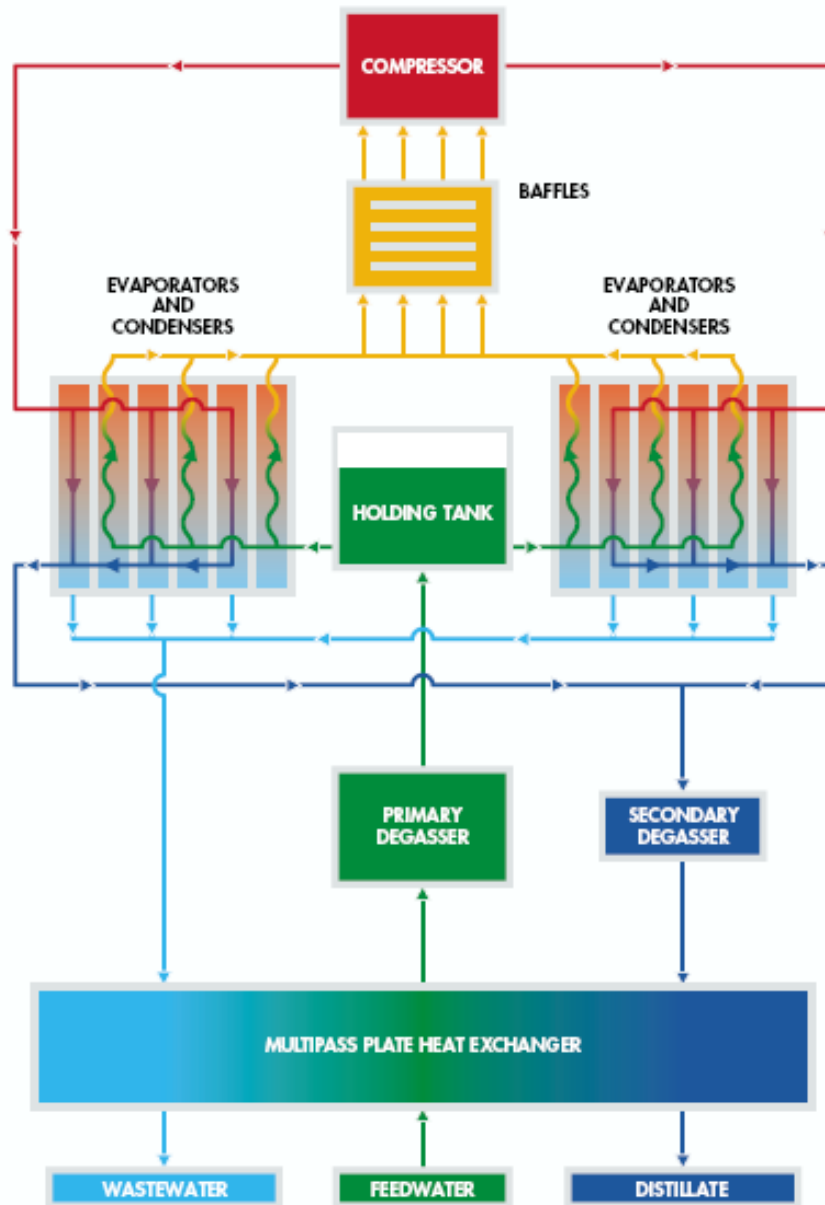


FIGURA 3.1. Diagrama a bloques del destilador

3.2. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA

El proceso se realizara a través de un PLC Siemens S7-300, que se programara con el software SIMATIC S7-300, y una interfaz MPI (ver apéndice), elementos indicadores de funcionamiento de los elementos hacia al proceso de control y así poder detectar mas fácilmente los problemas, esto es:

- Tener gráficamente el nivel del deposito de agua.
- Mantener monitoreada la presión en la cámara interna de destilación.
- Monitorear las protecciones de sobrecalentamiento del equipo.
- Programar los tiempos de operación del equipo de forma automática.
- Generar reportes de operación y condiciones del equipo.

El proceso cuenta con una alimentación principal de agua desmineralizada la cual alimenta al agua de proceso y al agua de enfriamiento:

AGUA DE PROCESO

Esta agua se introduce al equipo con ayuda de una electroválvula la cual alimenta al evaporador, donde el agua con ayuda de dos resistencias de 500W c/u lleva al agua al punto de ebullición, el vapor de agua es impulsado y comprimido con ayuda de un impulsor (el cual gira a mas de 10,500 rpms). Es así como el agua pasa al condensador donde adquiere nuevamente el estado líquido. Siendo esta agua de la más alta pureza. La capacidad de generación es de 100 litros por hora. El agua que no logra ebullición en el evaporador, es desechada dando lugar al agua de desecho que contiene pirógenos y restante de sales. La cantidad de esta agua debe estar entre los 30 y 114 litros por hora.

AGUA DE ENFRIAMIENTO

Esta agua ingresa al equipo mediante la apertura de una electroválvula, la principal función de esta agua es circular a través del Aquaseal (conjunto de rodamientos, flecha y sello mecánico del impulsor), motor principal (mediante serpentín de enfriamiento que envuelve al motor), una vez que circuló mediante el equipo es expulsada esta agua. La cantidad de esta agua debe ser 30 a 45 litros por hora. En la figura 3.2 se muestra el proceso integrado.

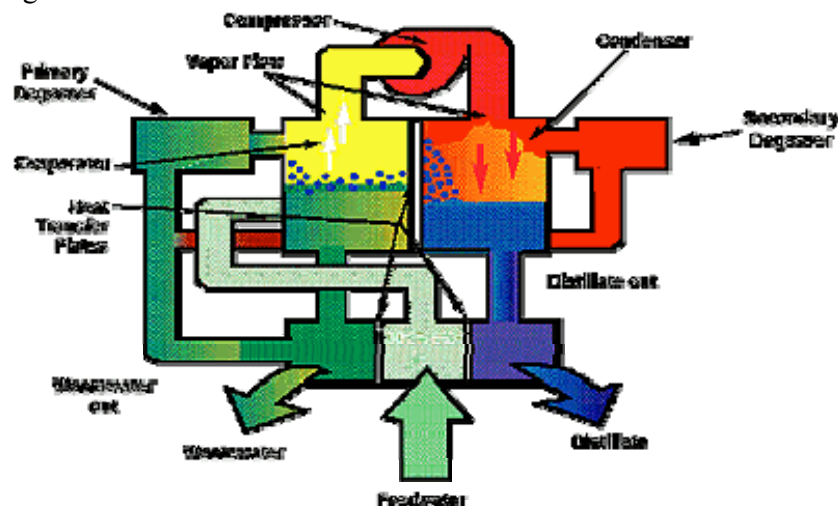


FIGURA 3.2. Destilador

En la figura 3.3 se observa en una perspectiva frontal de como se ven los elementos y los compartimientos del agua.

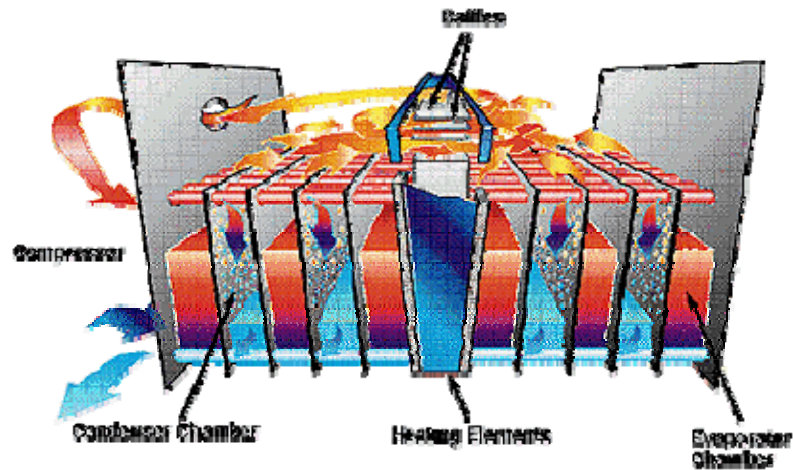


FIGURA 3.3. Destilador

OPERACIÓN

La filosofía de operación de los elementos de control es:

Al accionar el interruptor de arranque el cual es normalmente cerrado, este accionara al motor , y a los temporizadores de las electroválvulas de agua de producción y agua de enfriamiento.

Después de 15 segundos de haberse energizado las electro válvulas, se accionan las resistencias.

Transcurridos aproximadamente 2.5 horas, el agua comienza a ebullic. La presión generada por el agua en estado de evaporación accionara al interruptor de presión el cual abrirá el circuito y desenergizara las resistencias.

Este proceso se mantendrá solo si los siguientes elementos de protección térmica y nivel no se accionan:

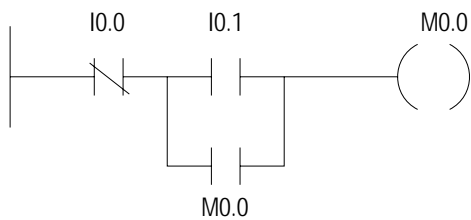
- Sensor de nivel alto
- Sensor de nivel bajo.
- Protección de sobrecalentamiento en la carcasa del motor.
- Elemento térmico del motor.
- Sobrecalentamiento en Aquaseal (conjunto de rodamientos, flecha y sello mecánico del impulsor).
- Elemento térmico de resistencias.

DIAGRAMA DE ESCALERA

El siguiente diagrama de escalera muestra los elementos que se utilizaron para realizar la programación del PLC. El cual se explica línea por línea y al final se muestra el diagrama completo, al igual que como se hace la conexión externa.

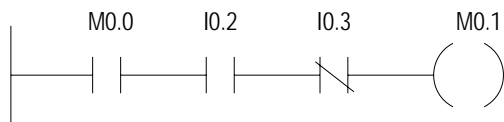
Las entradas (botoneras, interruptores, sensor de nivel, protectores térmicos, sensor de presión) se identifican con la nomenclatura I. Las banderas o marcas internas del PLC se identifican por la letra M, las salidas a relevador se identifican con la nomenclatura Q y los temporizadores internos se identifican por la nomenclatura T (ver apéndice).

Así tenemos en esta primera línea el interruptor de paro (I0.0). En serie tenemos al botón pulsador de arranque (I0.1) el cual se enclava mediante el arreglo en paralelo con la bandera M0.0 por lo que este se enclavara siempre y cuando no se oprima el botón de paro.

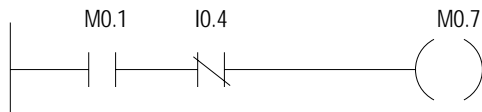


La Bandera M0.0 en serie con el sensor de nivel alto (I0.2) en cual es normalmente abierto y en serie también con el protector térmico del impulsor (I0.3), generaran que se active la bandera interna M0.1

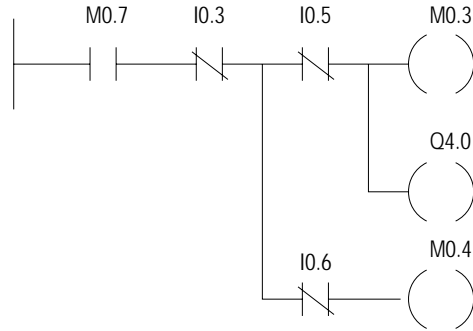
Así tenemos que si el sensor de nivel alto detecta alto nivel en el condensador, este no activara a la bandera M0.1 conjuntamente con el protector térmico del impulsor el cual al detectar una temperatura elevada hará que el sensor abra el circuito.



La bandera M0.1 en serie con el protector Térmico del Aqua-Seal (I0.4) activaran a la bandera interna M0.7



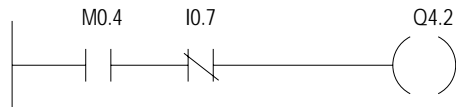
La bandera M0.7 en serie con el protector térmico del impulsor (I0.3) y el protector de sobrecorriente del impulsor (I0.5) generaran que se active la bandera interna M0.3 y la salida que activara al contactor del motor del impulsor (Q4.0). En paralelo el protector de sobrecorriente del impulsor (I0.5) y el protector térmico de resistencias (I0.6) generaran que se active la bandera M0.4



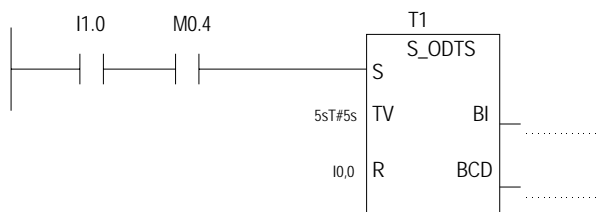
La salida que activa al contactor del motor del impulsor (Q4.0) generara que se active la salida que indica el sobrecalentamiento del motor del impulsor (4.1).



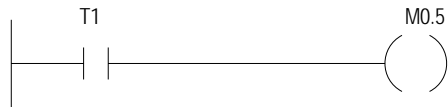
La bandera M0.4 en serie con el sensor de nivel bajo (I0.7) activara a la salida que indica que el equipo tiene bajo nivel en el evaporador (Q4.2).



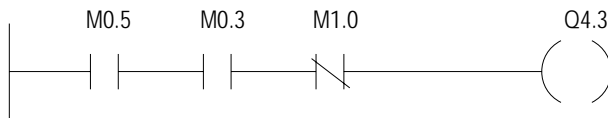
Una vez energizado el circuito y garantizando las condiciones de operación como son: nivel de agua en el evaporador y que no existe sobrecalentamiento ni sobrecorriente, y que la presión siga constante, con la ayuda del sensor de presión (I1.0) se activara el temporizador interno T1 con retardo a la conexión.



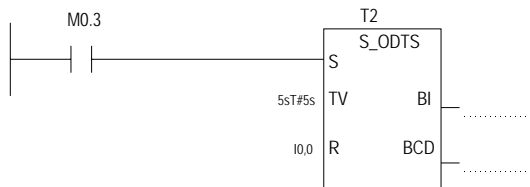
Una vez transcurridos 5 segundos el Temporizador interno T1 activara a la bandera interna M0.5.



Las banderas M0.5, M0.3 y M1.0 activara a la salida del contactor para las resistencias (Q4.3), esto es, mientras el protector térmico del impulsor (I0.3) y el protector de sobrecorriente del impulsor (I0.5) no se activen, y claro hasta que pasen los 5 segundos transcurridos por el temporizador T1, se indicara que las resistencias están encendidas, y si el sensor de presión nos indica que ha bajado o subido la presión, la M1.0 nos mandara a apagar este indicador.



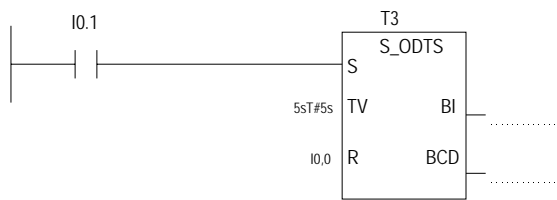
Así mismo la bandera M0.3 activara al temporizador interno T2 con retardo a la conexión.



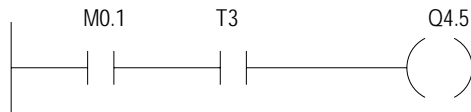
Después de 5 segundos el Temporizador interno T2 energizara la alimentación de agua (Q4.4).



Aquí al activar el botón de arranque, activara al temporizador Interno T3 con retardo a la conexión.



La bandera interna M0.1 en serie con el temporizador T3 activara la alimentación de agua de enfriamiento (Q4.5), esto es, la solenoide de alimentación de agua de enfriamiento, esto es, siempre estará alimentada el agua de enfriamiento al activar el botón de arranque, a solo que se active el sensor de nivel alto de nivel y se abra el protector térmico del impulsor.



El sensor depresión (I1.0) activa a la bandera interna M1.0, la cual manda a apagar las resistencias si es que no se mantiene dicha presión.



Como se observa, el programa consta de 14 líneas, con las cuales se hizo la automatización del proceso de destilación, esta programación se llevo a cabo con el software STEP 7 (ver apéndice).

En el diagrama de la figura 3.4 se muestra el programa completo, y a continuación se muestra el diagrama de conexión (figura 3.5), es decir, como se conectaron las distintas entradas utilizadas (sensores, interruptores) y las salidas (motor, solenoides y resistencias).

DIAGRAMA DE CONEXION

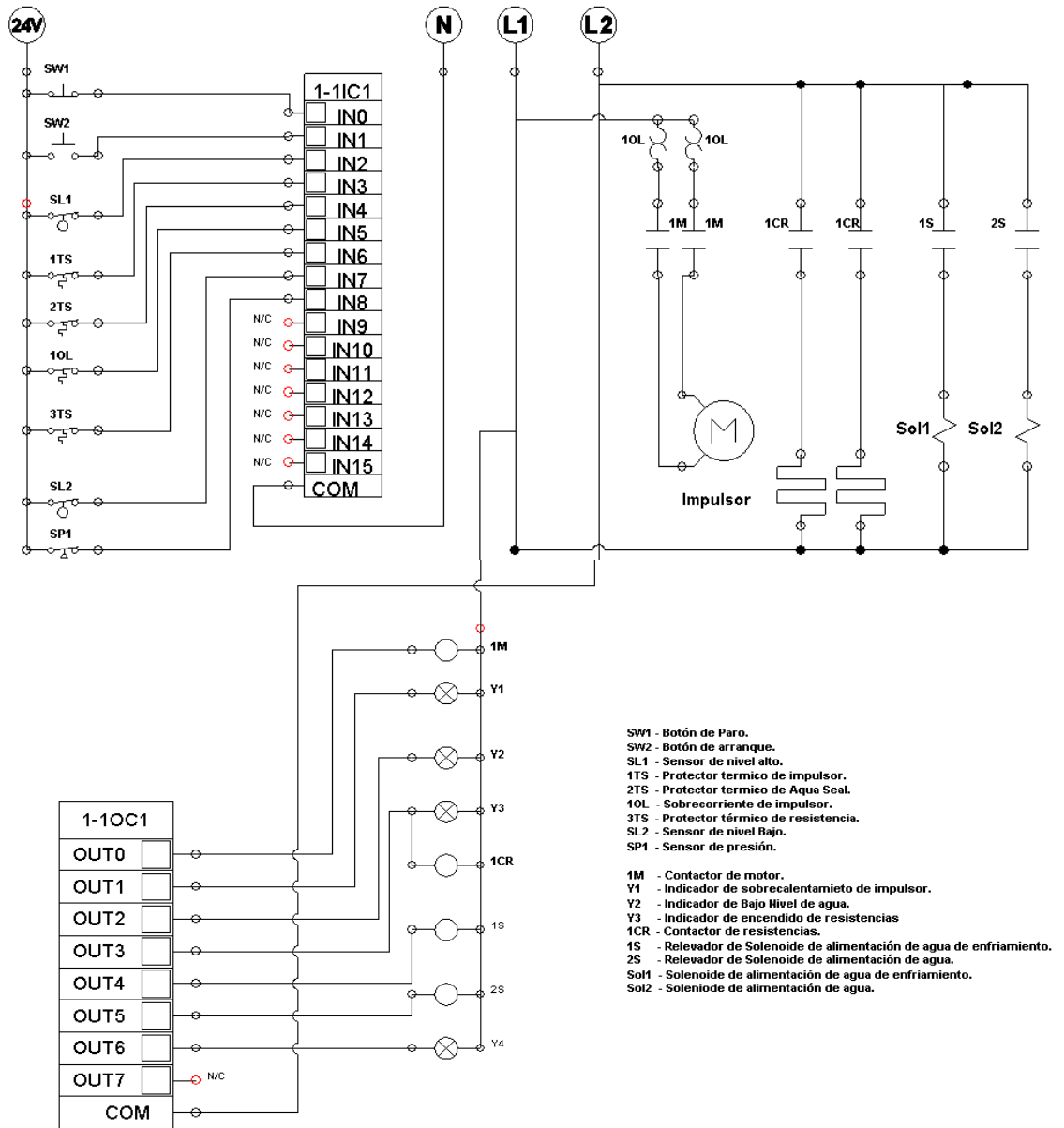


FIGURA 3.5. Diagrama de Conexión del proceso

En las siguientes imágenes se muestran los sensores utilizados en nuestro proceso, al igual que el PLC que maneja estos.



FIGURA 3.6. Sensor de nivel (flotador)



FIGURA 3.7. Sensor de presión



FIGURA 3.8. PLC S7-300

CAPITULO IV

“CONCLUSIONES”

La realización de un proyecto es sin lugar a dudas una labor que demanda de la capacidad de cada uno de los integrantes que lo conforman. En el proyecto presentado se contó con la participación de cuatro pasantes en Ingeniería, cuyas especialidades son: Electrónica, Acústica, Robótica y se contó con la participación de un Pasante de Ingeniería Mecánica.

Con la participación de todos se logro dar una solución al problema planteado de una forma muy eficaz. Ya que para la automatización del proceso, se dieron diferentes puntos de vista para su solución, lo cual resulto muy conveniente y practico; gracias a ello se tuvo la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos, y dar soluciones desde diferentes enfoques.

Con la investigación realizada se logró una buena documentación del proceso de destilación y su automatización, sus aplicaciones y las áreas donde se podría aplicar este proyecto. En nuestra automatización del proceso de destilación se tiene un mayor control, así como una detección de fallas rápida y eficiente, ya que se puede monitorear a una PC a través de la interfaz con el PLC.

Se comprobó la eficiencia de los PLC cuando se desea manejar diferentes variables, en nuestro caso utilizamos solo procesamiento de señales digitales, pero también podrían haber sido señales discretas, ya que el PLC cuenta con las dos opciones, además como mencionamos anteriormente, se tiene un mejor control de las variables que con un control electromecánico; se concluye entonces que para la automatización de cualquier proceso que se maneje es mas conveniente aplicar un PLC por su facilidad de adaptación a las necesidades y su fácil programación.

Finalmente podemos decir que un PLC es una gran herramienta para la industria que se quiera, y debido a que cada PLC ya trae su propio software y su interfaz, nos facilita esto aun mas, en este caso nos ahorrara tiempo, trabajo, menos contacto con el equipo y sobre todo una mayor calidad del producto (agua destilada) debido al buen control.

BIBLIOGRAFIA

[1] Tesina. “Control de un sistema generador de ozono para potabilizar agua”

Andrade García José Manuel

Cortes Muños Anfony Jonathan

González Mendoza Ulises Fernando Israel

Abril 2006.

[2] Alejandro Torres A.¹

Raúl Lugo L.¹

Juan M. Zamora M.¹

Miguel Toledo V.²

¹ Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana (Iztapalapa).

² Sección de Estudios de Postgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (Zacatenco), Instituto Politécnico Nacional.

Mexico D.F.

[3] Tesina. “Control y monitoreo de temperatura de un proceso “

Alonso Ortiz Jorge Alberto.

Delgado Reyes Rubén.

Miranda Zavala José Carlos

Trejo Valderrama Javier.

Mayo del 2006.

[4] Termodinámica química y de los procesos irreversibles

Manuel Criado Sancho. José casas Vázquez

Addison-Wesley Iberoamericana

[5] Control automático de procesos. Teoría y practica

Carlos A. Smith. Armando B. Corripio

Limusa Noriega editores

[6] Operaciones unitarias en ingeniería química

Warren L. McCabe. Julian C. Smith. Peter Harriott

Mc.graw hill

[7] Ingeniería química operaciones básicas
J.M. Coulson. J. F. Richardson
Editorial reverté, S. A.

[8] Métodos de la industria química
Ing. Fritz tegeder. Dr. Ludwig Mayer
Eeditorial Reverté, S. A.

[9] <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/agua3.htm>

[10] http://www.lenntech.com/espanol/agua_desionizada_desmineralizada.htm

[11] Manual de formación para soluciones generales en automatización
Totally Integrated Automation (T I A)
Modulo A3 Startup Introducción a la Programación de PLC con STEP 7

APENDICE

PLC S7-300

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE Y SOFTWARE

- 1) PC, sistema operativo Windows 95/98/NT como:
Mínimo: 133MHz y 64MB RAM, espacio libre en el disco duro aprox. 65 MB.
Óptimo: 500MHz y 128MB RAM, espacio libre en el disco duro aprox. 65 MB.
- 2) Software STEP7 V 5.x
- 3) Interface MPI para el PC.
- 4) PLC SIMATIC S7-300 como mínimo con bloques de entradas y salidas digitales.

PROGRAMACIÓN DEL SIMATIC S7-300 CON STEP 7

AUTÓMATA SIMATIC S7-300

El autómata SIMATIC S7-300 es un módulo de control de gama baja para controles pequeños y medianos. Para una óptima adaptación en las tareas a automatizar existe una ampliación en los grupos de trabajo. El Autómata S7 contiene en el bastidor, una CPU y grupos de entradas y salidas analógicas y digitales (E/A). Normalmente contiene también procesadores de comunicación y módulos de funciones para tareas especiales.

El programa almacenado en el Autómata (PLC) controla y regula, con el programa S7, una máquina o un proceso. El grupo de E/A se comunica con el programa S7 a través de las direcciones de entrada y salida.

La programación del sistema se realiza con el Software STEP 7.

SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL STEP 7

El Software STEP 7 es la herramienta de programación para el autómata:

- SIMATIC S7-300
- SIMATIC S7-400
- WinAC

Con el STEP 7 se pueden utilizar las siguientes funciones para la automatización de una instalación:

- Configuración y parametrización del hardware
- Establecer la comunicación
- Programación
- Test, formación y servicio
- Documentación
- Uso y diagnóstico de las funciones

PROGRAMACIÓN DE LA INTERFACE (PC- ADAPTADOR)

Para poder programar una estación SIMATIC S7-300 desde la PC, es necesaria una interface MPI. MPI se define como **M**ulti **P**oint **I**nterface (Interface con múltiples puntos). La comunicación de la interface tiene hasta 32 partes, las cuales se han de programar. Se utilizan para operar y vigilar con HMI (interface hombre maquina) y para el intercambio de datos entre SIMATIC S7 y CPUs.

MANEJO DEL S7-300 Y SU CONFIGURACIÓN

El SIMATIC S7-300 es un módulo de sistema de automatización y ofrece el siguiente grupo de trabajo:

- Módulo central (CPUs) con diferentes contenidos, en parte con entradas/ salidas integradas o una interface PROFIBUS integrada.
- Fuente de alimentación PS con 2A, 5A o 10°.
- Expansión de módulos de trabajo IM para la configuración de varias líneas de S7-300.
- Módulos de señales SM para entradas/salidas digitales y analógicas.
- Módulos de funciones FM para funciones especiales.
- Procesadores de comunicación CP para conexión a la red.

Elementos importantes en la fuente de alimentación y en la CPU (figura 1):

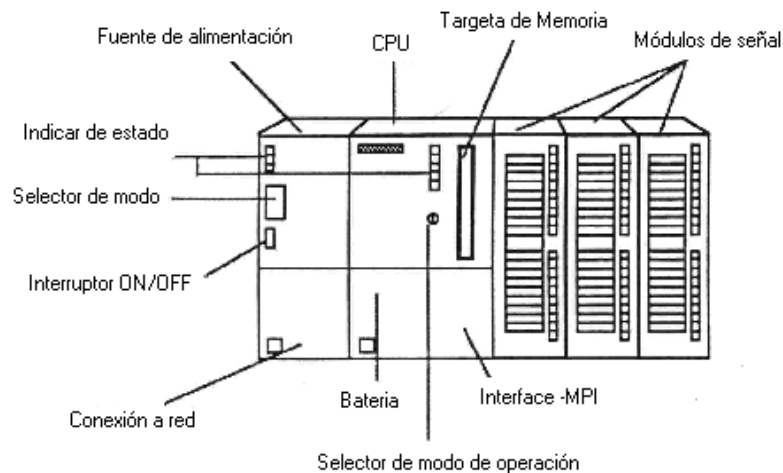


FIGURA 1. PLC S7-300

CONFIGURACIÓN DEL PLC UTILIZADO

- Fuente de alimentación: *en este PLC no viene incluida*
- CPU: **CPU 315-2DP (315-2AG10-OABO)**
- Entradas digitales: **DI 16x DC24V (321-1BH02-OAAO)**
- Salidas digitales: **DO 16x DC24V / 0,5 A (322-1BH01-OAAO)**
- Entradas y salidas analógicas: **AI4 / A02x8BIT (334-OCE01-OAAO)**

¿CÓMO REGULA EL PLC EL PROCESO?

El PLC controla el proceso, debido a que determinados Actuadores de las Salidas caracterizan conexiones del PLC con un control de tensión de, p.e. 24 V. Por eso se pueden conectar y desconectar motores, abrir y cerrar válvulas o encender y apagar lámparas.

¿DE DÓNDE RECIBE EL PLC LA INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESO?

Las informaciones sobre el proceso que recibe el PLC provienen de los llamados generadores de señal, las cuales son alterados por las entradas del PLC. Estos generadores de señal pueden ser p.e. sensores, los que reconocen si un objeto está en una determinada posición o también simples interruptores o pulsadores, que pueden estar abiertos o cerrados.

¿QUÉ SE ENTIENDE COMO SEÑAL DE ENTRADA/SALIDA DEL PLC?

La declaración de una determinada entrada o salida dentro del programa se denomina direccionamiento. Las entradas y salidas de los PLCs están comprendidas en general, en 8 grupos de entradas y salidas digitales. Estas 8 unidades se denominan Byte. Cada uno de estos grupos contiene un número llamado dirección de Byte. Para tratar una entrada o una salida dentro de un byte, se ha de descomponer cada byte en ocho Bits individuales. Estos se numeran del Bit 0 al Bit 7. Así se guarda la dirección del Bit. El PLC que utilizamos tiene las entradas byte 0 y 1 así como las salidas byte 4 y 5.

¿CÓMO SE EJECUTA EL PROGRAMA EN EL PLC?

1. Después de que el PLC sea conectado, el Procesador pregunta, si las entradas de tensión son activas o no. El estado de las entradas se guarda en la imagen del proceso de las entradas (PAE). Además se guarda para las entradas de tensión la información 1 o “High” y para las entradas sin tensión la información 0 o “Low”.
2. Este procesador empieza a ejecutarse después de guardar el programa en el memoria de programa. Este contiene una lista de uniones y instrucciones lógicas, las cuales se irán ejecutando sucesivamente. Para esto se necesitan las información de las entradas que se han almacenado en el PAE y los resultados lógicos se escriben en una determinada imagen del proceso de las salidas (PAA). También sobre otras áreas de memoria como marcas, temporizadores y contadores se extrae información durante la ejecución del programa, eventualmente desde el procesador.
3. En el tercer paso, después de la ejecución del programa de usuario de estado se transfieren las PAA a las salidas y este se conecta o se desconecta. A Continuación se ejecuta de nuevo el punto 1.

¿CÓMO SE VEN LAS UNIONES EN UN PROGRAMA EN EL PLC?

Las uniones lógicas se utilizan también para poder determinar las condiciones para el conmutación de una salida. En el programa del PLC se pueden utilizar estas uniones para elaborar un esquema de contactos con el lenguaje (KOP), un diagrama de funciones (FUP) o una lista de instrucciones (AWL).

¿CÓMO SE CREA UN PROGRAMA PARA EL PLC? ¿CÓMO SE GUARDA EL PROGRAMA EN EL PLC?

El programa PLC se escribe con el Software STEP 7 en el PC y allí se guarda en la memoria intermedia. Después de la conexión del PC con la Interface MPI del PLC, se puede cargar el programa en la memoria del PLC gracias a la función de carga [11].

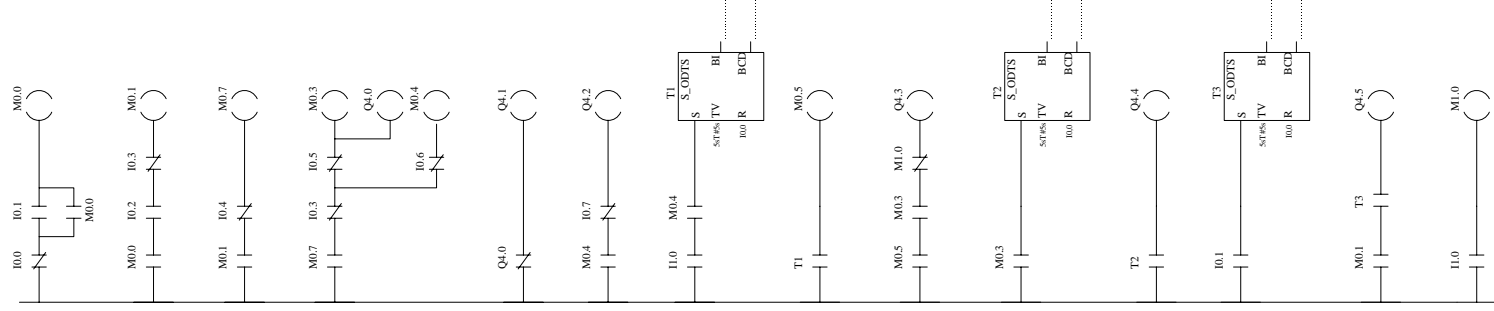


FIGURA 3.4 Diagrama de escalera del proceso