

7
26/9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

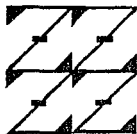
DIAGRAMAS LOGICOS
DE CONTROL PARA
OPERACIONES DE PROCESO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

LUIS JAVIER CHAVERO GONZALEZ



ASESOR:
ING. RENE DE LA MORA M.

MÉXICO D.F.

AGOSTO DE 1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
GENERALIDADES.	4
1.1 Definiciones.	5
1.2 Características Generales.	9
1.3 Componentes de un Sistema de Control.	10
1.4 Importancia de los diagramas lógicos de control.	11
1.5 Ubicación de los diagramas lógicos de control dentro de la la ingeniería de proyectos y su desarrollo.	13
1.6 Aspectos Generales del diseño de sistemas de control.	17
1.7 Fallas en los componentes del sistema de control.	20
CAPITULO II	
LOGICA MATEMATICA	22
2.1 Sistemas de numeración.	23
2.1.1 Sistema Decimal.	24
2.1.2 Sistema Binario.	25
2.2 Relación entre sistemas de numeración binario y decimal.	25
2.2.1 Conversión Binaria a Decimal.	25
2.2.2 Conversión Decimal a Binaria.	27
2.3 Aritmética Binaria.	30
2.3.1 Adición Binaria.	30
2.3.2 Multiplicación Binaria.	31
2.3.3 Substracción Binaria.	33
2.3.4 División Binaria.	35
2.4 Tablas de Verdad.	35
2.4.1 Conjunción.	37
2.4.2 Disyunción.	38
2.4.3 Negación.	39
2.4.4 Proposiciones y Tablas de Verdad.	39
2.5 Tautologías y Contradicciones.	40
2.6 Equivalencia Lógica: Algebra de Proposiciones.	41

CAPITULO III	
COMPUERTAS LOGICAS.	44
3.1 Algebra de Boole.	45
3.2 Dualidad.	47
3.3 Teoremas Básicos.	48
3.4 Expresiones de Boole Forma Suma de Productos.	49
3.5 Compuertas Lógicas.	52
3.5.1 Compuerta OR.	52
3.5.2 Compuerta AND.	54
3.5.3 Compuerta NOT.	57
3.6 Circuitos Lógicos.	60
3.7 Expresiones Booleanas Minimales para simplificación de circuitos lógicos.	64
3.8 Mapas de Karnaugh.	69
3.8.1 De dos variables	70
3.8.2 De tres variables	72
3.8.3 De cuatro variables	76
3.9 Circuitos Minimales AND-OR.	80
CAPITULO IV	
DIAGRAMAS LOGICOS DE CONTROL.	85
4.1 Uso de símbolos lógicos.	86
4.2 Descripción de símbolos usados en los diagramas lógicos de control.	89
4.2.1 Líneas de información.	89
4.2.2 Unidades de entrada y de salida.	91
4.2.3 Funciones Lógicas.	94
4.3 Circuitos Especiales.	105
CAPITULO V	
METODOLOGIA Y APLICACION.	115
5.1 Preparación del diagrama lógico de control	116
5.2 Metodología para la elaboración de diagramas lógicos de control.	117
5.2.1 Descripción del sistema.	117
5.2.2 Descripción lógica.	118
5.2.3 Diagrama Lógico.	119

5.3 Aplicaciones.	121
5.3.1 Sistema de Gas combustible a quemadores y pilotos de horno.	121
5.3.2 Sistema de paro de turbina por alto nivel del tanque y/o alta temperatura en descarga del compresor.	126
5.3.3 Sistema de Gas combustible o combustóleo a quemadores de horno.	131
5.3.4 Paro de Bomba de motor y arranque de bomba con turbina por baja presión	135
5.3.5 Paro y arranque de bomba controlada por interruptores de nivel.	140
5.3.6 Sistema de centrifugado de Diesel.	142
5.3.7 Sistema de llenado de tanques de almacenamiento.	147
5.3.8 Sistema auxiliar de bomba de vacío.	150
5.3.9 Sistema de mezclado por lotes para reactor.	155

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.	164
----------------------	------------

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN

El trabajo presenta un estudio del documento denominado DIAGRAMAS LÓGICOS DE CONTROL, el cual es un documento de Ingeniería de proyectos generado en la etapa de ingeniería de detalle por el departamento de instrumentación o de control de procesos.

En él se indican las secuencias lógicas que los circuitos de control deberán tener, es decir relaciona aquellos elementos de control con naturaleza binaria que se interrelacionarán para producir una acción correctiva de control cuando se presente algún evento que altere las condiciones de operación de un proceso.

La principal función de los Diagramas Lógicos de Control es la de comunicar a las diferentes especialidades involucradas en la ingeniería de proyectos y que tengan relación con el establecimiento de los sistemas de control con que contará la planta, como ha de funcionar un cierto sistema de control dentro de un cierto proceso.

En el trabajo se presentan generalidades del documento, su ubicación dentro de la ingeniería de proyectos, sus bases teóricas, su simbología y la aplicación que tienen en los sistemas de control de procesos mostrando para ello, algunos ejemplos desarrollados en sistemas de control comunes en la ingeniería de proyectos.

INTRODUCCION

El uso extensivo de equipos y dispositivos de conmutación, entrelaces, indicación, relevación instantánea o de tiempo, etc., necesarios para controlar las secuencias normales de operación en las modernas plantas industriales, requieren de una definición precisa de las condiciones de operación con las que dichos elementos deben cumplir. Estas condiciones de operación pueden ser tan complejas, que simplemente establecerlas resulta, de por sí una tarea difícil. Su comunicación a los responsables de otras áreas, principalmente a los responsables del diseño eléctrico puede no ser lo suficientemente exacta y por lo tanto conducir a confusiones o malos entendidos. Lo anterior es frecuente considerando que los diversos profesionales involucrados en la consecución de los proyectos, pertenecen a diferentes disciplinas dentro de la ingeniería; independientemente de ello, precisar, interpretar y lograr dichas operaciones, es una responsabilidad del equipo de ingeniería encargado del proyecto.

Algunas de las formas actuales de comunicación presentan fuertes desventajas. Por ejemplo, las descripciones escritas, frecuentemente se vuelven vagas y confusas y pueden requerir en muchos casos de un gran número de páginas, dando por resultado que lo dicho por unos y lo entendido por otros sean conceptos totalmente distintos. Con el fin de evitar esta serie de inconvenientes se han desarrollado los Diagramas Lógicos de Control, los cuales presentan en forma clara y condensada la operación o secuencia de operaciones a seguir por un instrumento o un conjunto de estos sobre los equipos involucrados en una operación de control.

Para elaborar o entender un Diagrama Lógico de Control, es conveniente conocer los fundamentos en los cuales se basa la elaboración de este documento: la lógica de operaciones, las compuertas lógicas, etc. y su aplicación. Con esto, las personas involucradas en establecer el sistema de control dentro de un proyecto podrán especificar o entender las características del mismo.

El principal objetivo de este trabajo es cubrir en forma general, un panorama del documento, incluyendo la información necesaria sobre sus fundamentos y su aplicación, para facilitar la comprensión de su

funcionamiento en las operaciones de proceso dentro de la Ingeniería de proyectos.

En el Capítulo I se establecen las características generales tanto de un sistema de control como de los Diagramas Lógicos de Control presentando algunos conceptos básicos para entender mejor el contenido de los capítulos siguientes, también se da una breve descripción de la ubicación del documento en cuestión dentro de la Ingeniería de proyectos, mencionando la importancia que tiene su desarrollo en una forma planeada y adecuada, tanto como una correcta definición del sistema de control; para esto se presentan algunos aspectos que el diseñador del sistema de control debe tener en cuenta con el fin de obtener un sistema más seguro y eficiente.

En el Capítulo II se presentan las bases matemáticas que soportan las operaciones lógicas, como son los sistemas numéricos, particularmente el binario, la forma en que se puede tener relación entre ambos sistemas binario y decimal, las operaciones aritméticas básicas del sistema binario. Por otro lado y de suma importancia en la lógica de las operaciones son las tablas de verdad, en esta sección también se dan a conocer las tablas de verdad de las operaciones más simples como son la conjunción, la disyunción y la negación, posteriormente se analiza la forma en que estas pueden combinarse para formar lo que se conoce como proposiciones lógicas. Finalmente se presentan las equivalencias lógicas y la relación algebraica que se establece entre ellas para poder desarrollar algunas de las leyes de más importantes en la lógica de operaciones.

El capítulo III, basándose en las propiedades establecidas en las tablas de verdad presenta las bases del álgebra de Boole la cual mediante el desarrollo de algunos teoremas y leyes facilita el análisis y diseño de circuitos lógicos más simples; posteriormente se presentan las compuertas lógicas básicas (las cuales serán complementadas en el capítulo siguiente), para introducir también los circuitos lógicos y comenzar con el análisis de los mismos.

En el mismo capítulo se presentan las bases algebraicas para la simplificación de los circuitos lógicos así como una alternativa al álgebra de Boole: los Mapas de Karnaugh y los circuitos minimales AND-OR.

En el capítulo IV se dan algunas recomendaciones a seguir en la elaboración de los diagramas lógicos de control, así como algunos conceptos frecuentemente empleados con el fin de manejarlos de manera uniforme y obtener así diagramas claros y completos. Posteriormente se comienzan a analizar los elementos empleados en la construcción del documento, explicando su funcionamiento y su simbología, incluyendo tablas de verdad y ejemplos para complementar su entendimiento; se muestran las compuertas lógicas básicas y las combinaciones que se hacen de las mismas y que por su uso frecuente, se han fusionado y han sido consideradas funcionalmente como una sola.

Dentro del mismo capítulo IV se explica la diferencia existente entre circuitos combinatorios y circuitos secuenciales y así se introducen no sólo las compuertas lógicas, sino también compuertas que trabajan en función del tiempo como son las memorias y los elementos de retraso de tiempo. En estos últimos también se presentan ejemplos para facilitar la comprensión de su empleo.

En el capítulo V se dan algunas sugerencias para la preparación del diagrama lógico de control, así como una breve metodología para la elaboración de los mismos. Finalmente se presenta una serie de ejemplos ilustrativos de la aplicación de los diagramas a algunos de los sistemas de control empleados en situaciones industriales comunes.

El trabajo termina presentando en el capítulo VI las conclusiones referentes al mismo.

CAPITULO I

GENERALIDADES

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1 DEFINICIONES.

Es conveniente que desde un principio se definan dos conceptos que se usarán ampliamente durante todo el trabajo, Sistema de Control y Diagrama Lógico de Control.

Sistema de Control.

Por sistema de control de proceso se debe entender todo el conjunto de instrumentos que mantienen en cualquier circunstancia, el proceso de que se trate, en las condiciones deseadas de operación o de control. Estos instrumentos, mediante el uso de variables medibles del proceso analizan el comportamiento del mismo mediante la comparación de los valores medidos con valores preajustados por el personal de diseño del proceso y del sistema de control, estos valores preajustados tienen la finalidad de mantener las condiciones del proceso dentro del rango de operación y seguridad deseado.

Si la comparación del valor preajustado con el valor medido no es satisfactoria, dentro del mismo sistema de control se produce una señal, ya sea de aviso, registro o de corrección al disturbio mediante una acción sobre alguna variable manipulable para finalmente restablecer las condiciones dentro del rango preestablecido.

Diagrama Lógico de Control.

Por otro lado un Diagrama Lógico de Control es un sistema secuencial y/o combinatorio de la relación que hay entre las unidades de entrada y de salida de un sistema de control de proceso.

Los Diagramas Lógicos de Control son la base para desarrollar con la tecnología más avanzada (eléctrica, electrónica, neumática, hidráulica, mecánica, óptica, etc.), los sistemas que mediante una secuencia lógica de operaciones, mantendrán al proceso en las condiciones deseadas o previstas por el personal de diseño.

Alarma.

Elemento que señala la existencia de una condición anormal por medio de un cambio audible o visible, o ambos intentando llamar la atención del personal.

Atras de tablero.

Término aplicado a la localización de un instrumento que está: a) dentro del área que contiene al tablero, b) dentro o atrás del tablero de control y que no es accesible al operador para su uso, y c) que no es designada como local.

Bit.

Unidad de información o dígito binario.

Campo de medida o rango.

Conjunto de valores comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento. Se expresa mediante sus valores extremos.

Capacidad.

Medida de la máxima cantidad de energía o de material que puede almacenarse dentro del recinto de un equipo.

Circuito de control.

Combinación de uno o más instrumentos interconectados y arreglados para medir y/o controlar una variable de proceso.

Camino que sigue la señal de control con retroalimentación al sistema de control, en donde se compara la variable medida con un valor deseado (punto de ajuste) y la señal de error obtenida actúa de tal modo que reduce la magnitud de ese error.

Computador.

Aparato que recibe información de entrada y que la procesa dando una información de salida según un programa preestablecido.

Computador digital.

Computador en el que la información se representa en forma numérica.

Controlador.

Instrumento que compara la variable la variable controlada con un valor deseado y ejerce automáticamente una acción de corrección de acuerdo con la desviación.

Convertidor.

Instrumento que recibe una señal estándar y la envía modificada en forma de señal de salida estándar.

Elemento final de control.

Recibe la señal del controlador para provocar en el un cambio en el agente de control (variable manipulable) que altere las condiciones de proceso sobre las cuales está trabajando.

Elemento primario.

Parte de un circuito que sensa el valor de la variable de proceso, y que asume un correspondiente, predeterminado e inteligente estado de salida.

Error.

Diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.

Función.

El propósito de o la acción desarrollada por un elemento.

Identificación.

Secuencia de letras o dígitos o ambos para designar un instrumento o un circuito individual.

Instrumento.

Elemento usado directa o indirectamente para medir o controlar una variable o ambos.

Instrumentación.

La aplicación de instrumentos.

Interruptor.

Un elemento que cierra o corta un circuito pudiendo ser manual o automáticamente.

Luz piloto.

Indica cuales de un número de condiciones normales de un sistema existen. Opuesta a la luz de alarma que indica condiciones anormales.

Memoria.

Elemento en el que puede introducirse información y conservarse en el tiempo.

Montado en tablero.

Término aplicado a un instrumento que es montado en un tablero y que es accesible al operador.

Proceso o sistema controlado.

Cualquier operación o secuencia de operaciones que involucran un cambio de estado, composición, o dimensión, o de otra propiedad que puede ser definida con respecto a un dato.

Engloba las funciones realizadas por el equipo en el cual es controlada la variable, sin incluir los instrumentos de control.

Punto de ajuste.

Variable de entrada en el controlador que fija el valor deseado de la variable controlada.

Señal.

Salida o información que emana de un instrumento ya sea en forma eléctrica, neumática, etc, siendo representativa de un valor cuantificado.

Tablero.

Estructura que tiene un conjunto de instrumentos montados en él.

Transmisor.

Capta la variable de proceso a través del elemento primario y la convierte a una señal de transmisión estándar.

Variable controlada.

Dentro del circuito de control es la variable que se capta a través del transmisor y que origina una señal de realimentación.

Variable manipulada.

Cantidad o condición del proceso variada por el elemento o elementos finales de control.

Variable medida.

Cantidad, propiedad o condición física que es medible.

1.2 CARACTERISTICAS GENERALES.

Durante la operación de una planta se deben satisfacer diversos requerimientos impuestos por diseñadores y técnicos, en general estos requerimientos son:

- Seguridad.
- Cantidad y calidad de la producción.
- Consumo de materias primas (eficiencia).
- Regulación de emisión de efluentes.
- Restricciones de operación.
- Economía.
- Etc.

Estos requerimientos determinan la necesidad de monitorear la operación de la planta, contando para esto, con un sistema de control seguro y eficiente, el cual debe cumplir con las características siguientes:

- Reestablecer toda o parte de la planta a una condición segura después de que ocurra un desperfecto, falla o simplemente un evento imprevisto.
- Llevar o mantener las variables de operación a una condición deseada dentro de los límites preestablecidos.
- Controlar la planta de acuerdo a un programa.
- Indicar las condiciones de la misma, por medio de señales audibles o visibles así como registrar en forma escrita el comportamiento de las variables de interés.

Para poder lograr esto se necesita, como se insiste en este trabajo, que la interconexión de los instrumentos involucrados en el sistema de control sea apropiada. Para ello se cuenta con los Diagramas Lógicos de Control, los que a su vez requieren de ciertas características indicadas a continuación.

Características de los Diagramas Lógicos de Control:

-Proporcionar claramente las características funcionales de las operaciones de control del circuito.

-Deben poder ser entendidos por cualquier persona relacionada con el proyecto, ya sea en su etapa de diseño, instalación u operación.

-La información que contendrán deberá ser independiente de la tecnología con la que los sistemas se implantarán (eléctrica, electrónica, neumática, hidráulica, mecánica, etc.).

-Deben estar constituidos por unidades de entrada y unidades de salida interconectadas adecuadamente mediante funciones lógicas, de retraso y de memoria.

-Cuando los Diagramas Lógicos de Control sean convertidos, para su realización, en otro tipo de diagramas dependiendo de una tecnología específica, no necesariamente habrá correspondencia de los componentes reales con los símbolos lógicos, excepción hecha de las unidades de entrada y de salida.

1.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL.

Un sistema de control en general consta de tres tipos de elementos o componentes:

-Detector o unidad de entrada.

-Dispositivo intermedio o de transferencia.

-Dispositivo final o unidad de salida.

Las unidades de entrada son los sensores o dispositivos (eléctricos, mecánicos, etc.) que entran en contacto directo con el proceso y que envían a través de funciones lógicas, de tiempo y de memoria señales a las unidades intermedias o de salida del sistema.

Pueden distinguirse dos tipos de unidades de entrada:

-Las que detectan directamente alteraciones o ciertas condiciones del proceso mediante variables medibles. Estas unidades de entrada comúnmente se conocen como elementos primarios.

-Las que mediante ellos el operador puede alterar las condiciones de proceso, tales como, las estaciones de botones, volantes de válvulas de control, selectores, etc.

Los dispositivos intermedios son aquellos elementos que reciben información de las unidades de entrada y la comparan con valores ajustados y en base a esta comparación realizan alguna acción mandando una señal (eléctrica, neumática, etc.) a un elemento de salida para

restablecer las condiciones deseadas en caso de alguna perturbación al proceso.

Las unidades de salida son los equipos y dispositivos de información que reciben señales a través de funciones lógicas, de tiempo y de memoria ya sea de las unidades de memoria o de los dispositivos intermedios, y que finalmente tienen contacto directo ya sea con el proceso o con el operador:

Se distinguen también dos tipos de unidades de salida:

- Las que actúan directamente en el proceso sobre una variable manipulable; por ejemplo, equipos tales como bombas, válvulas de control, etc.
- Las que transmiten información al operador; por ejemplo, las alarmas visibles y/o audibles, etc.

En la figura 1-1 se muestra un esquema general de los componentes que incluye un sistema de control y la forma en que estos se encuentran relacionados. Como se ve, el proceso funciona como inicio y fin del circuito de control, ya que de él es de donde el circuito toma una variable Y , la cual es previamente seleccionada como la más conveniente para mostrar el comportamiento de las condiciones de operación a controlar. Esta variable es detectada por el elemento primario o unidad de entrada para tomar un valor medible Y_m , el cual será comparado con el punto de ajuste Y_{sp} del dispositivo intermedio para obtener la desviación e de esta variable y enviar una acción de control hacia el dispositivo final o unidad de salida el cual realizará una acción correctiva ó preventiva sobre el proceso.

1.4 IMPORTANCIA DE LOS DIAGRAMAS LOGICOS DE CONTROL.

El constante crecimiento en el tamaño y la complejidad de las plantas industriales ha traído consigo la correspondiente necesidad de tener sistemas automáticos confiables que ordenan las operaciones de proceso con el fin de mantener un control de las condiciones del mismo. Este tipo de sistemas deben anticipar todas las posibles contingencias en el proceso y cuando éstas se presenten actúan automáticamente de forma rápida y eficiente para mantenerlas

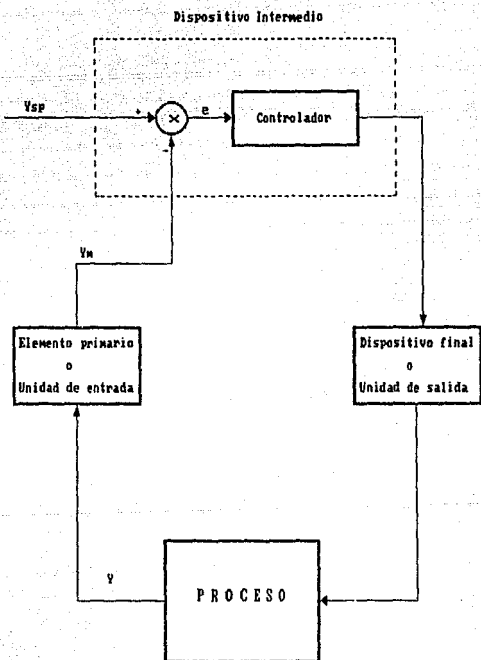


Figura 1-1 Esquema General de los componentes de un sistema de control.

condiciones de seguridad y operación del proceso en los niveles deseados.

Es necesario por lo tanto, un sistema de detección de los diversos eventos críticos, con el objetivo de generar la protección adecuada a la planta en general, de acuerdo a un plan preestablecido y bien definido.

De aquí, que el sistema de control es un sistema de seguridad, el cual protege al personal, al equipo de proceso, al producto, a las condiciones de operación, en caso de que alguna(e) de las condiciones de operación se vea(n) alterada(s) o se produzca cualquier falla en el proceso.

Los sistemas de control son diseñados en caso de amenaza a cualquiera de los aspectos mencionados, en esto radica la importancia del buen diseño de este tipo de sistemas, ya que los problemas generados por un diseño erróneo de ellos, puede derivar en la pérdida de vidas humanas, daños costosos al equipo o a las instalaciones, daños al ambiente y a la ausencia o ineficiencia de la producción.

Para lograr un buen sistema de control es necesario implementar las características básicas de su funcionamiento desde las etapas de ingeniería básica y de detalle en el desarrollo de un proyecto.

Un Diagrama Lógico de Control es aplicable a cualquier sistema de control que use elementos interruptores para iniciar operaciones normales o de emergencia y dentro del diseño de un sistema de control nunca debe ser omitido ya que este es apropiado donde es necesario trazar las acciones de un circuito en detalle.

1.5 UBICACION DE LOS DIAGRAMAS LOGICOS DE CONTROL DENTRO DE LA INGENIERIA DE PROYECTOS Y SU DESARROLLO.

Antes de proceder a ubicar a los Diagramas Lógicos de Control en la ingeniería de proyectos es conveniente dar un breve repaso de las etapas de las que está constituido. La figura 1-2 presenta un diagrama de bloques de las etapas involucradas.

El inicio del proyecto surge de una necesidad ya sea de la producción de algún bien específico o de la construcción de una nueva planta, de la modernización y/o ampliación de una ya existente.

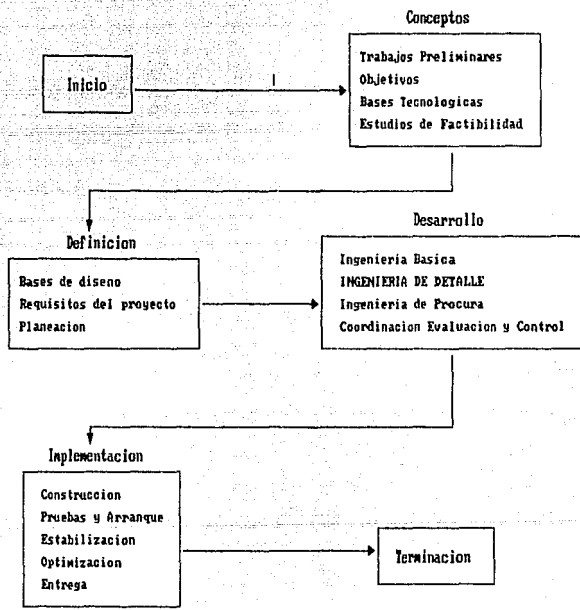


Figura 1-2 Diagrama de Bloques de las etapas de un proyecto

Posteriormente se encuentra la etapa de conceptos, en ella se hacen los trabajos preliminares para la realización del proyecto como es la solicitud de cotización, las propuestas de las firmas de ingeniería, se plantean los objetivos y las bases tecnológicas.

Posteriormente en la etapa de la definición del proyecto se presenta ya de manera formal la información que servirá durante el desarrollo del proyecto, esto es, las bases de diseño, los requisitos técnicos, humanos y financieros así como la planeación de los mismos.

En la tercera etapa se comienza con el desarrollo de la ingeniería básica del proyecto en la cual se realizarán entre otras cosas la identificación de las variables de proceso, desarrollo del tipo de proceso y parámetros, caracterización de materias primas, productos, servicios, etc. diseños termodinámicos, predimensionamiento de equipo, desarrollo de filosofías operacionales, diagrama de flujo de proceso, diagrama de tubería e instrumentación, etc. para proceder a la ingeniería de detalle en donde se realizan las especificaciones de equipo, de instrumentos, de materiales; se realizan los diseños mecánicos, arreglos generales de equipos, diseño civil, eléctrico y de las tuberías y la instrumentación. En esta parte es donde se desarrollan los diagramas lógicos de control, junto con otros documentos de control como típicos de instalación, diagramas de instrumentación, arreglos de nivel etc.

Dentro de la misma etapa de desarrollo se continúa con la ingeniería de procura en la cual se especifican todos los equipos, instrumentos y materiales para su posterior adquisición. Finalmente en esta etapa se encuentra la sección de Coordinación Evaluación y Control en la cual se verifica que el desarrollo del proyecto vaya realizándose de acuerdo a lo planeado, estableciéndose un diagnóstico de avance, de consumo de recursos etc. y tomándose las acciones necesarias para continuar el proyecto satisfactoriamente.

La siguiente etapa es la de implementación en ella se procede ya a la construcción e instalación de la planta y sus componentes para posteriormente dar arranque y ajuste a los mismos. Durante un período se opera la planta para obtener la estabilización y mejor funcionamiento de la misma para finalmente entregarse.

Los primeros documentos del proyecto para presentar los conceptos requeridos para sistemas de seguridad entrelazados en el diseño de

cualquier planta de proceso son el diagrama de flujo y el de tubería e instrumentación, los cuales presentan a los equipos, las líneas de tubería o líneas de proceso y los instrumentos o sistemas de control para regularlos. El problema limitante con estos documentos de ingeniería, es que ellos no pueden cubrir los conceptos de secuencia, operaciones manuales y los detalles de los entrelaces de seguridad.

Los principales componentes (solenoides, y las conexiones eléctricas o neumáticas entre los instrumentos de la planta) deben aparecer en los documentos antes mencionados, tales conexiones mostrarán que existe una situación de enlace o de control. Los detalles de estos sistemas no se necesitan incluir en los diagramas de flujo y de tubería e instrumentación porque estos aparte de complicarlos los volvería confusos por la cantidad de información manejada en un mismo documento, por esto se prefieren los Diagramas Lógicos de Control para poder presentarlos con mayor claridad.

Estos Diagramas son los planos de construcción y los documentos de ingeniería de instrumentación final que simbólicamente indican todo acerca de los componentes de un sistema de control, tales como elementos primarios, luces, interruptores, válvulas, etc., junto con su relación y su secuencia lógica entrelazada. Los Diagramas Lógicos de Control no muestran las localizaciones físicas de los elementos de control, si no que combinan en forma esquemática toda la información necesaria y requerida por el personal encargado del sistema de control, para seguir la operación de los distintos elementos involucrados en el sistema de control.

Los símbolos usados son, como los demás símbolos empleados en la ingeniería de detalle en la instrumentación de la planta, proporcionados por la Sociedad Americana de Instrumentación (ISA) y por el Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI), y pueden ser usados para cualquier representación lógica de control.

Los Diagramas Lógicos de Control funcionan como el lenguaje de comunicación utilizado entre las diferentes especialidades que intervienen en el diseño del sistema de control dentro del desarrollo de un proyecto, pero principalmente en la ingeniería de detalle, presentando las características de los enlaces de los instrumentos involucrados en el sistema de control para que otras disciplinas vayan desarrollando su parte mediante la información proporcionada, de una

forma clara. En esta parte se involucran normalmente ingenieros de proceso, instrumentistas y electricistas.

Por ejemplo, los diagramas de flujo o los de tubería e instrumentación, además de que siempre tendrán información adicional para el ingeniero electricista obligan a éste a dedicar más tiempo en el diseño por la necesidad de interpretar sobre técnicas no comunes en su especialidad.

Básicamente los Diagramas Lógicos de Control son desarrollados por el departamento de instrumentación desde la etapa de la ingeniería de detalle de un proyecto, ya que serán requeridos durante el desarrollo del sistema de control, para la elaboración de trabajos de diferentes especialidades como son los diagramas de control eléctrico o diagramas de escalera.

Para poder elaborar los Diagramas Lógicos de Control se requiere de una ingeniería básica previa, diseñada de acuerdo a estudios de seguridad y operabilidad del proceso, además de una buena comprensión de las filosofías operacionales de la planta en cuestión, y de tener presentes los elementos definidos en cada circuito de control.

Para la elaboración de los Diagramas Lógicos de Control se requieren por lo tanto otros documentos como son los diagramas de tubería e instrumentación, los diagramas de instrumentación, la matriz de paro y arranque y la filosofía operacional.

Los Diagramas Lógicos de Control son apropiados para cualquier demanda operacional del proceso que tenga que ser descrita al personal de operación, de mantenimiento, diseñadores u otros y es particularmente usado para discusiones en grupo y toma de decisiones.

1.6 ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL.

Uno de los más importantes aspectos del diseño de cualquier proceso, en lo que concierne al personal, es el esquema de control del proceso.

El operador debe sentirse seguro de que el diseñador esta usando la mejor tecnología práctica en el diseño del cerebro de la unidad que el operador va a trabajar. Para hacer esto el diseñador debe estar familiarizado con los problemas cotidianos (tales como controlar el

nivel de líquido en un tanque) y analizar todos los posibles disturbios con los que el superintendente de operación debe enfrentarse.

Es trabajo del diseñador del proceso hacer seguro que la unidad pueda arrancar, parar y trabajar dentro de condiciones preestablecidas por el personal común de operación. Para hacer esto, la unidad de proceso debe estar diseñada con adecuados instrumentos y controles.

Es conveniente que en el diseño de un sistema de control se tomen en cuenta los siguientes aspectos:

- Los controles deben trabajar con lo inesperado, no sólo con los parámetros cotidianos de operación ajustados.
- El análisis de un problema de operación en campo es mucho más difícil que el análisis en una oficina.
- El personal de operación no es de ingenieros necesariamente. Los esquemas de control deben ser simples. Aún el supuesto más claro esquema de control no trabajará si el operador no puede entenderlo.
- Es recomendable que el personal de operación no tenga que enfrentarse a errores del diseñador.

El diseño de un proceso no está completo hasta que el esquema de control haya sido incluido. Los controles críticos, deben ser especificados y las razones de los controles claramente explicadas. El funcionamiento de cualquier esquema de control debe ser revisado con un ingeniero instrumentista antes de detallar cálculos de material e instalación en el diseño final del proceso. El esquema final, regularmente será un compromiso entre el diseñador de proceso, el ingeniero instrumentista y el operador del proceso.

Después de la operabilidad, el segundo objetivo de controles e instrumentos del proceso deberá ser controlar el uso de insumos de proceso.

En el desarrollo del esquema de control, se implementan los sistemas de seguridad que estarán interconectados. Para hacer una revisión de este tipo el ingeniero debe conocer los instrumentos y dispositivos involucrados, así como ser hábil en la lectura de Diagramas Lógicos de Control.

También es necesario conocer la relación entre el operador y los sistemas de enlace. La función del operador en cualquier sistema de

seguridad debe ser limitada sólo a la preparación del equipo requerido y estar atento en caso de que se requiera su intervención en el sistema de control (restablecer, parar, arrancar), aún en los casos donde éste sea automático. Sin embargo, no debe ser autorizado para cambiar los ajustes de los controles, de las alarmas o energizar a voluntad los dispositivos de enlace y puntos de ajuste-respuesta-tiempo, así como secuencias; todos los sistemas de enlace deben ser hechos a prueba de operadores. Esto trae consigo la seguridad de la instalación física de los sistemas y sus componentes de un acceso no autorizado y proporciona para el peor de los casos de negligencia del operador o de interferencias un análisis detallado de posibles fallas.

Una revisión de estos análisis en esta etapa de ingeniería, debe también considerar la relación física del operador con la distribución de equipos, tuberías e instrumentos y la planta en general, sus rutas de trabajo, sus acciones de mandato y la accesibilidad de ésta con el fin de prever las posibles fallas que pudieran presentarse en el desarrollo de su trabajo.

Como los sistemas de control son usados cuando las condiciones se alteran tanto que puedan crear una amenaza inmediata a los operadores, la planta, el vecindario, el ambiente, etc., o causar pérdidas sustanciales en la producción, en algunos casos se cuenta con alarmas que tienen el fin de prevenir al operador de la presencia de un disturbio, esto es, cuando se tienen al menos 20 minutos para que se analice la situación y se realice una acción correctiva pertinente. Cuando el operador no toma o no puede tomar una decisión apropiada en el tiempo permitido, se debe tener un sistema automático de respaldo que realice una acción determinante que lleve la situación a un punto de seguridad general.

Todos los sistemas de control también deben ser a prueba de fallas de servicios. Esto es, en la falla de un servicio tratase de cuando hay una pérdida de aire de instrumentos, del suministro de la energía eléctrica, de agua de enfriamiento, gas inerte o servicios de vapor; el sistema deberá trabajar en una posición segura o en su caso dejar de trabajar dejando los equipos, válvulas, etc. en una posición de seguridad. Cada probabilidad de falla debe ser considerada y el

efecto de ésta en el proceso, equipo, etc., así como la acción correctiva, deben ser claramente estudiados.

Los posibles disturbios en el control de procesos y el orden potencial de los riesgos varían mucho de planta en planta y de proceso en proceso, para permitir la creación de estándares mandatorios de diseño. Cada diseño de seguridad debe ser considerado independientemente con una evaluación separada de la instalación física, sus condiciones específicas de proceso, riesgos, requerimientos de seguridad, necesidades de mantenimiento, habilidad de los operadores, etc.

1.7 FALLAS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL.

La función de un sistema de control es proporcionar siempre una rápida pero controlada acción en el caso de que el proceso exceda los límites de seguridad. Ya que cualquier componente del sistema de control puede tener una falla en cualquier momento, la necesidad de componentes de respaldo debe ser evaluada para cada caso. Esta redundancia de componentes debería ser considerada en todas las instalaciones críticas donde hasta la falla de un componente parcial puede reducir la capacidad del sistema de control para tomar la acción correctiva apropiada.

La falla de un componente del sistema puede provocar un problema muy costoso y en algunos casos catastrófico. De aquí que es necesario proporcionar sensores adicionales e independientes, trabajando en serie sobre una misma variable a controlar, y así proporcionar una seguridad adicional. Ya que sensores similares del sistema están sujetos a limitaciones o fallas similares o idénticas, estos sistemas redundantes podrían, cuando es posible, monitorear condiciones diferentes pero relacionadas en el mismo sistema. Por ejemplo, es posible usar un interruptor por bajo flujo en serie con un interruptor por alta temperatura en una chaqueta de aceite de calentamiento de un reactor en vez de usar dos interruptores de bajo flujo.

Cuando elementos similares, tales como analizadores de composición, son usados en sistemas de control críticos, podrían ser duplicados para asegurar que en un momento dado uno de ellos está en servicio en caso de emergencia, es decir en algunos casos se puede

duplicar un mismo elemento cuando no es posible trabajar con diferentes variables.

Cuando se usan elementos en paralelo es recomendable usar alarmas visibles y en casos muy arriesgados audibles en los paneles de control de tal forma que el operador pueda darse cuenta cuando una unidad está fuera de servicio.

Otro ejemplo de redundancia en componentes en la provisión de aire de instrumentos de emergencia y suministro ininterrumpible de energía eléctrica para sistemas de control y equipos críticos donde su pérdida podría generar repercusiones incontrolables o indeseables.

Este tipo de respaldo de componentes del sistema de control es siempre cara y normalmente complicada hasta en la etapa de diseño por lo que su necesidad debe ser evaluada cuidadosamente

CAPITULO II
LOGICA MATEMATICA

CAPITULO II LOGICA MATEMATICA

Los controles automáticos, así como las computadoras están presentes en casi todos los campos de la actividad industrial de proceso, en los que se analizan y registran datos. Por esta razón, es conveniente que ciertos temas matemáticos relacionados con las ciencias de la computación y de la información -en particular, el sistema numérico binario y los circuitos lógicos - sean de interés para el presente trabajo.

2.1 SISTEMAS DE NUMERACION.

Muchos de los componentes electrónicos de un conmutador son de naturaleza biestable; es decir, pueden estar en cualquiera de dos estados (tales como encendido/apagado o magnetizado/desmagnetizado) para el análisis de este tipo de componentes se utiliza la lógica. Se emplea para determinar que de un hecho puede deducirse otro; o bien, para saber combinar las opciones de que se presente o no un cierto evento. Estos dos estados posibles comunmente se denotan por cero y uno que son los símbolos para los dígitos del sistema de numeración binario. Aún más, una unidad individual de información se presenta en un conmutador por una secuencia de estos dígitos binarios (llamados bits, abreviadamente). Tales sucesiones de bits pueden ser considerados como números binarios, y muchos computadores usan el sistema numérico binario no sólo para representar cantidades, sino para efectuar cálculos usando la aritmética binaria.

El sistema numérico binario y el familiar sistema numérico decimal son ejemplos de sistemas de numeración posicional. Cualquier sistema de dígitos requiere solamente de un número finito de símbolos, llamados dígitos del sistema, para representar números arbitrariamente grandes. En términos de estos dígitos, la ejecución de cálculos numéricos es relativamente sencilla.

El número b de dígitos de un sistema se llama la base. Como se verá cualquier número puede representarse como una suma de potencias

de la base b , en la cual cada potencia está ponderada por uno de los dígitos.

2.1.1 SISTEMA DECIMAL.

El sistema decimal tiene diez dígitos denotados por los símbolos que representan los enteros de cero a nueve. Así la base del sistema decimal es $b=10$.

Cualquier entero positivo N , representado en el sistema decimal como una cadena de dígitos decimales, puede expresarse también como una suma de potencias, con cada potencia ponderada por un dígito, a esto se le llama *notación expandida para el entero*. Las potencias de diez, que corresponden respectivamente a los dígitos en un entero decimal cuando se leen de derecha a izquierda, se llaman *valores de posición de los dígitos*.

Cualquier valor fraccionario M , representado en el sistema decimal por una cadena de dígitos decimales junto con un punto decimal intercalado, puede expresarse también en notación expandida usando potencias negativas de diez para los valores fraccionarios. Por ejemplo, $M = 837.526$ se expresa en notación expandida como sigue:

$$837.526 = 8 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2} + 6 \times 10^{-3}$$

La aritmética de los números con fracciones decimales no es nada complicada, siempre y cuando uno no pierda de vista los puntos decimales.

Tanto en la adición como en la sustracción uno debe alinear verticalmente los puntos decimales de las cantidades antes de efectuar la operación.

En la multiplicación el número de posiciones decimales del producto es la suma de las posiciones decimales de los números que se están multiplicando.

En la división de una fracción decimal por otra, se debe de mover el punto decimal del divisor para transformar el divisor en un entero. Esto se compensa moviendo también el punto decimal en el dividendo hacia la derecha el mismo número de posiciones. Por ejemplo

387.167/2.55 = 38716.70/255. Finalmente el punto del producto sólo se sube del dividendo.

2.1.2 SISTEMA BINARIO.

El sistema binario es el sistema de posición decimal con base $b=2$. Sus dos dígitos denotados por cero y uno, se llaman bits abreviadamente. Cualquier número binario es, por lo tanto una sucesión de bits, posiblemente con un punto binario intercalado. Los números binarios que no tienen parte fraccionaria, es decir, que no tienen punto binario intercalado, se llaman enteros binarios.

Los valores de posición en el sistema binario son las potencias de la base 2. Así como en el sistema decimal son las potencias de diez, los valores de posición de la parte entera son potencias positivas de dos y de la parte fraccionaria potencias negativas.

La Tabla 2-1 da los valores de algunas de las potencias de dos.

2.2 RELACION ENTRE SISTEMAS DE NUMERACION BINARIO Y DECIMAL.

2.2.1 Conversión binaria a decimal.

Cualquier número binario se puede escribir en notación expandida como la suma de cada dígito el número de veces el valor de tal dígito:

$$\begin{aligned} 101.1101_2 &= 1x2^2 + 0x2^1 + 1x2^0 + 1x2^{-1} + 1x2^{-2} + 0x2^{-3} + 1x2^{-4} \\ 101.1101_2 &= 5.8125 \end{aligned}$$

Cada potencia de dos está ponderada por cero o por uno, el número binario es simplemente la suma de aquellos valores en los cuales aparece el bit 1. Esta suma da directamente el equivalente decimal del número binario.

Otra forma de obtener el equivalente decimal de un número binario, pero restringido a los enteros binarios está dado por el siguiente algoritmo:

Doblar el primer dígito (a la extrema izquierda) y sumarlo al próximo dígito a la derecha. Doblar la suma y sumarla al próximo dígito. Este proceso se repite hasta que el último dígito (extrema

Potencias de dos	Valor Decimal
2^{10}	1024
2^9	512
2^8	256
2^7	128
2^6	64
2^5	32
2^4	16
2^3	8
2^2	4
2^1	2
2^0	1
2^{-1}	$1/2 = 0.5$
2^{-2}	$1/4 = 0.25$
2^{-3}	$1/8 = 0.125$
2^{-4}	$1/16 = 0.0625$
2^{-5}	$1/32 = 0.03125$
2^{-6}	$1/64 = 0.015625$

Tabla 2-1 Potencias de Dos.

derecha) sea sumado. La suma final es el equivalente decimal buscado.

Así para convertir 110101_2 a decimal se tiene:

$$1 \times 2^{-2} + 1 \times 3 \times 2^{-6} + 0 \times 6 \times 2^{-12} + 1 \times 13 \times 2^{-26} + 0 \times 26 \times 2^{-52} + 1 \times 53$$

A este algoritmo se le llama *doblar las sumas* o método de Horner. Observe que uno alterna entre multiplicar por la base 2 y sumar el siguiente dígito.

La Tabla 2-2 es un listado de las representaciones binarias de los enteros de 0 a 25, mostrando los valores de posición de los bits en la parte superior de la tabla. Algunas veces se usa un subíndice 2 para distinguir un número binario, 101011_2 para evitar confusión con un número decimal.

2.2.2 Conversión decimal a binaria.

Para obtener la representación binaria de un número decimal con parte fraccionaria se convierte su parte entera N_I y su parte fraccionaria N_F por separado. Para ilustrar esto se verá un ejemplo al convertir el número $N=109.78125$ a binario.

Ejemplo 2-1.

a) Para convertir $N_I = 109$ a su equivalente binario, dividimos N_I y cada cociente sucesivo por 2, tomando nota de los residuos como sigue:

Divisiones	Cocientes	Residuos
109 / 2	54	1
54 / 2	27	0
27 / 2	13	1
13 / 2	6	1
6 / 2	3	0
3 / 2	1	1
1 / 2	0	1

Se detiene cuando el cociente 1, es menor que el divisor 2, ya que éste último cociente será el próximo y el último residuo.

Hay que observar que los residuos solamente pueden ser 0 ó 1, ya que las divisiones son por dos. La sucesión de residuos de abajo hacia

Numero Decimal	Numeros Binarios				
	16s	8s	4s	2s	1s
0					0
1					1
2				1	0
3				1	1
4			1	0	0
5			1	0	1
6			1	1	0
7			1	1	1
8		1	0	0	0
9		1	0	0	1
10		1	0	1	0
11		1	0	1	1
12		1	1	0	0
13		1	1	0	1
14		1	1	1	0
15		1	1	1	1
16	1	0	0	0	0
17	1	0	0	0	1
18	1	0	0	1	0
19	1	0	0	1	1
20	1	0	1	0	0
21	1	0	1	0	1
22	1	0	1	1	0
23	1	0	1	1	1
24	1	1	0	0	0
25	1	1	0	0	1

Tabla 2-2 Equivalentes Binarios

arriba, como lo indica la flecha, dá el equivalente binario requerido. Mejor dicho, $N_x = 109 = 1101101_2$.

b) Para convertir $N_F = 0.78125$ en su equivalente binario multiplique N_F y cada parte fraccional sucesiva por 2, observando a la parte entera como sigue:

Multiplicaciones	Partes enteras
$0.78125 \times 2 = 1.56250$	1
$0.5625 \times 2 = 1.1250$	1
$0.125 \times 2 = 0.25$	0
$0.25 \times 2 = 0.5$	0
$0.5 \times 2 = 1.00$	1

La parte fraccional cero indica el fin de los cálculos. Observe que la parte entera de cualquier producto sólo puede ser cero o uno, ya que se están doblando números que son menores que uno. La sucesión de dígitos o partes enteras de arriba hacia abajo como lo indica la flecha, dá el equivalente binario requerido. Es decir, $N_F = 0.78125 = 0.11001_2$.

Observe que la parte entera de cada producto se ha subrayado, y no aparece en la siguiente multiplicación.

El equivalente binario de N es sencillamente la suma de los equivalentes N_x y N_F :

$$N = N_x + N_F = 110,1101,100,1$$

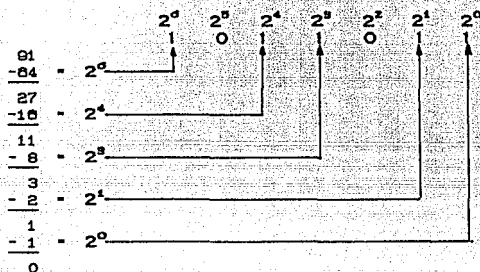
Otra forma de convertir un entero decimal en su equivalente binario es el algoritmo llamado de *substracción*:

Comenzando con el número decimal dado, se resta la potencia mayor de la base 2 que no rebase al número decimal. Se repite el proceso de restar la potencia mayor de la base dos de cada diferencia hasta obtener cero.

El número binario con bit = 1 en aquellos lugares cuyos valores de posición fueron restados, y con bit = 0 en los demás sitios, es el equivalente binario requerido.

Ejemplo 2-2.

Usando la Tabla 2-1 y el número 91 como ejemplo, se tiene:



Para finalmente obtener que: $91 = 1011011_2$.

2.3 ARITMETICA BINARIA.

La ejecución de cálculos numéricos es esencialmente igual en todos los sistemas de numeración posicional.

Comunmente en la aritmética hay ocasiones en que la operación exige llevar un número. Cuando un número sobrepasa la capacidad de la base de un sistema, se le resta la misma base. El número de veces que la base es restada se llama acarreo.

2.3.1 ADICION BINARIA.

Tal y como se efectúa la adición de números decimales, es realizada la adición de números binarios: se suman los elementos de la primera columna (extrema derecha). Se registra el dígito de las unidades de la suma de la columna. Si la suma pasa de 1, llevar el dígito de los binarios, 1, a la próxima columna y continuar con las columnas. Si se suman sólo dos números ninguna suma de columna puede pasar de dos binarios a acarrear, de tal manera que la suma de la columna no puede pasar de uno para llevar a la siguiente. Por esto sólo se pueden ir sumando dos números.

Como en la aritmética decimal se deben alinear los puntos binarios antes de efectuar la operación.

La Tabla de adición para los dígitos binarios 0 y 1 es la Tabla 2-3; los únicos hechos necesarios para la adición binaria aparecen en la Tabla 2-4.

Ejemplo 2-3.

Como ejemplo se tiene: $(1001 + 1101 + 110)_2$

$$\begin{array}{r}
 1001 \\
 + 1101 \\
 \hline
 10110 \\
 + 110 \\
 \hline
 11100
 \end{array}$$

2.3.2 MULTIPLICACION BINARIA.

Como se sabe la multiplicación de números decimales se puede reducir a multiplicar números por dígitos y luego a sumar.

La regla para la multiplicación decimal también es válida para la multiplicación binaria. En efecto, la multiplicación binaria es más sencilla, ya que al multiplicar un número por el bit cero o uno da respectivamente cero o el mismo número.

Para calcular el producto binario 1101011×10110 se desarrolla:

$$\begin{array}{r}
 1101011 \\
 \times 10110 \\
 \hline
 0000000 \\
 1101011 \\
 1101011 \\
 0000000 \\
 1101011 \\
 \hline
 \end{array}$$

En la práctica, no se escriben los productos cero. Se bajan los ceros iniciales, si hay, y se forma un total agregándole cada fila no cero después de la otra:

+	0	1
0	0	1
1	1	10 ₂

Tabla 2-3 Adición Binaria

$0 + 0 = 0$
$0 + 1 = 1$
$1 + 0 = 1$
$1 + 1 = 0$ Llevando uno.
$1 + 1 + 1 = 1$ Llevando uno.

Tabla 2-4 Hechos sobre la adición binaria

1101011	
x 10110	
11010110	Cero inicial
1101011	Primer producto no-cero
1010000010	Segundo producto no-cero
1101011	Primer suma de dos números
100100110010	Tercer producto no-cero
	Suma final

La suma final es el producto requerido. Es extremadamente importante destacar que se deben alinear los números en las columnas correctas para obtener un resultado correcto.

El número de posiciones binarias del producto que incluye punto binario se obtiene de la misma forma que en la multiplicación decimal.

2.3.3 SUBSTRACCION BINARIA.

La sustracción en el sistema decimal se puede efectuar con los siguientes pasos:

- a) Si el dígito inferior (sustraendo) es mayor que el superior (minuendo), se debe tomar prestado de la siguiente columna a la izquierda. El valor que se presta es igual a diez, pero la columna de la cual se presta sólo disminuye en uno.
- b) Se resta al valor inferior del superior.

Cuando se tiene que prestar de un dígito cero, específicamente, se tiene que prestar del primer dígito no cero hacia la izquierda, mientras que el cero se vuelve $10 - 1 = 9$.

4	3 9 9
8 4 8	8 4 8 0 3
- 2 8 3	- 2 1 5 2 5
-----	-----
2 8 5	0 2 3 7 8

Lo que se presta

Los hechos que se requieren para la sustracción consisten en las diferencias de cada dígito, de dígitos mayores, de las diferencias de cada dígito y de dígitos menores más diez.

La sustracción binaria se realiza en forma similar, los únicos hechos de la sustracción que se necesitan, son los cuatro incluidos en la Tabla 2-5, los cuales son traducciones de los hechos de adición

$$0 - 0 = 0$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

$$0 - 1 = 1, \text{ Prestando un 1 de la siguiente columna.}$$

Tabla 2-5 Hechos sobre la substraccion binaria

($10_2 - 1 = 1$ para la diferencia $0_2 - 1$ la que requiere tomar prestado).

Como en la sustracción decimal, la sustracción binaria se hace más compleja cuando hay que prestar de un dígito que es cero. De nuevo, se presta del primer dígito no cero a la izquierda, pero ahora cada cero que intervenga se vuelve $10_2 - 1 = 1$.

Ejemplo 2-4.

Como ejemplo, veanse las siguientes operaciones:

$$\begin{array}{r} 0 \\ 11x^4 01 \\ - 1011 \\ \hline 10010 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 011 \\ 1x^8 0^4 0 \\ - 10011 \\ \hline 101 \end{array}$$

2.3.4 DIVISION BINARIA.

La división de números decimales se puede reducir a multiplicar el divisor por dígitos individuales del dividendo y luego a una sustracción; por ejemplo $42558/123$:

$$\begin{array}{r} 42558 \quad | \quad 123 \\ -369 \quad 346 \\ \hline 565 \\ -492 \\ \hline 738 \\ -738 \\ \hline 0 \end{array}$$

El método anterior también funciona para la división binaria.

Como en la división decimal de enteros, un residuo es posible cuando un entero binario se divide por otro. Además la división de fracciones binarias se maneja de la misma manera que la división de fracciones decimales; o sea, uno convierte el divisor en un entero

moviendo el punto binario tanto en el divisor como en el dividendo el mismo número de veces.

Ejemplo 2-5.

Como ejemplo vease la siguiente operación $1110111/1001$ y $111.00001/1.01$:

$$\begin{array}{r}
 1110111 \quad | \quad 1001 \\
 \underline{-1001} \quad 1101 \\
 1011 \\
 \underline{-1001} \\
 1011 \\
 \underline{-1001} \\
 10
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 11100.001 \quad | \quad 101. \\
 \underline{-101} \quad 101101 \\
 1000 \\
 \underline{-101} \\
 110 \\
 \underline{-101} \\
 101 \\
 \underline{-101} \\
 0
 \end{array}$$

2.4 TABLAS DE VERDAD.

Algunos elementos del sistema de control pueden ser programados para tomar decisiones basadas en si ciertos enunciados -por ejemplo 'La presión leída es mayor a 300 libras'- son verdaderos o falsos. A la verdad o falsedad de un enunciado se le llama *valor de verdad*; un enunciado es *verdadero* o *falso*, pero no ambas cosas a la vez. Algunos enunciados son *compuestos*, es decir, están integrados por subenunciados y una o varias conectivas.

Ejemplo 2-6.

Como ejemplo se tiene:

a) 'La presión está arriba de lo permisible y la temperatura abajo de 130°C ' es un enunciado compuesto por los subenunciados 'La presión está arriba de lo permisible' y 'La temperatura está abajo de 130°C '.

- b) 'El flujo de entrada es muy alto o la bomba de descarga se paró', es implícitamente un enunciado compuesto por los subenunciados 'El flujo de entrada es muy alto' y 'La bomba de descarga se paró'.
- c) '¿Aumentará la composición?' no es un enunciado ya que no es falso ni verdadero.

La propiedad fundamental de un enunciado compuesto es que su valor de verdad está completamente determinado por los valores de verdad de sus subenunciados junto con la manera en que se encuentran conectados para formar el enunciado compuesto. Se comenzará con un estudio de estas conectivas. Se usarán letras p , q , r para denotar enunciados.

2.4.1 CONJUNCION.

Dos enunciados cualesquiera se pueden combinar con la palabra 'y' para formar un enunciado compuesto llamado la *conjunción* de los enunciados originales. Simbólicamente,

$$p * q$$

denota la conjunción de los enunciados p y q , que se lee 'p y q'.

La tabla de verdad del enunciado compuesto p y q es mostrada a continuación:

p	q	$p * q$
V	V	V
V	F	F
F	V	F
F	F	F

Tabla 2-6 Tabla de Verdad para Conjunción

En este caso, la primera línea es una manera abreviada de decir que si p es verdadero y q es verdadero, entonces $p * q$ es verdadero. Las otras líneas tienen significados análogos. Se considera que esta tabla define precisamente el valor de verdad del enunciado compuesto $p * q$ como una función de los valores de verdad de p y de q . Observe que $p * q$ es verdadero solamente en el caso que ambos subenunciados sean verdaderos.

Ejemplo 2-7.

Por ejemplo:

- a) Los solventes son hidrocarburos y compuestos orgánicos.
- b) Los solventes son hidrocarburos y compuestos inorgánicos.
- c) Los solventes no son hidrocarburos y son compuestos orgánicos.
- d) Los solventes no son hidrocarburos y son compuestos inorgánicos.

Solamente el primer enunciado es verdadero. Cada uno de los otros enunciados es falso ya que por lo menos uno de sus subenunciados es falso.

2.4.2 DISYUNCION.

Dos enunciados pueden combinarse con la palabra 'o' que se usará en el sentido de 'p o q o ambos' para formar un nuevo enunciado que se llama *disyunción* de los dos enunciados originales. Simbólicamente,

$$p + q$$

denota la disyunción de los enunciados p y q y se lee 'p o q'.

El valor de verdad de $p + q$ está dado por la siguiente tabla de verdad, que define a $p + q$:

p	q	$p + q$
V	V	V
V	F	V
F	V	V
F	F	F

Tabla 2-7 Tabla de Verdad para Disyunción

Observe que $p + q$ es falso solamente cuando ambos enunciados son falsos.

Ejemplo 2-8.

- a) Los solventes son hidrocarburos o compuestos orgánicos.
- b) Los solventes son hidrocarburos o compuestos inorgánicos.
- c) Los solventes no son hidrocarburos o son compuestos orgánicos.
- d) Los solventes no son hidrocarburos o son compuestos inorgánicos.

En este caso sólo el último enunciado es falso. Cada uno de los otros enunciados es verdadero ya que por lo menos uno de sus subenunciados es verdadero.

2.4.3 NEGACION.

Dado cualquier enunciado p , se puede formar otro enunciado, llamado la negación de p , escribiendo 'Es falso que...' antes de p o, si es posible insertando en p la palabra 'no'. Simbólicamente,

$$\bar{p}$$

denota la negación de p y se lee 'no p '.

La tabla de verdad de \bar{p} está es mostrada a continuación:

p	\bar{p}
V	F
F	V

Tabla 2-8 Tabla de Verdad para Negación

Como se puede ver el valor de verdad de la negación de cualquier enunciado es siempre el opuesto del valor de verdad del enunciado original.

Ejemplo 2-9.:

- a) Es falso que los solventes son hidrocarburos.
- b) Es falso que los solventes son compuestos orgánicos.

2.4.4 PROPOSICIONES Y TABLAS DE VERDAD.

Con las conectivas lógicas (+, *, $\bar{\quad}$), se pueden construir enunciados compuestos que son más elaborados. En el caso en que los subenunciados p, q, \dots de un enunciado compuesto $P(p, q, \dots)$ sean variables, se llama al enunciado compuesto una *proposición*.

Ahora el valor de verdad de una proposición depende exclusivamente de los valores de verdad de sus variables, mejor dicho, el valor de verdad de una proposición se conoce una vez que se conozcan los valores de verdad de sus variables. La tabla de verdad de la proposición $\overline{(p * q)}$, por ejemplo, se construye como sigue:

p	q	\bar{q}	$p * \bar{q}$	$\overline{(p * \bar{q})}$
V	V	F	F	V
V	F	V	V	F
F	V	F	F	V
F	F	V	F	V

Tabla 2-9 Tabla de Verdad de una proposición.

Note que el símbolo $\bar{\quad}$ afecta a la operación completa dentro del paréntesis y que las otras columnas se usan sólo para la construcción de la tabla de verdad.

2.5 TAUTOLOGIAS Y CONTRADICCIONES.

Algunas proposiciones $P(p, q, \dots)$ contienen solamente V en la última columna de sus tablas de verdad, es decir, son verdaderas para cualquier valor de verdad de sus variables. A tales proposiciones se les llama *tautologías*. Análogamente, una proposición $P(p, q, \dots)$ se llama *contradicción* si contiene solamente F en la última columna de su tabla de verdad, o sea, es falso para cualquier valor de verdad de sus variables. Por ejemplo, la proposición 'p o no p', es decir, $p + \bar{p}$, es una tautología y la proposición 'p y no p', es decir, $p * \bar{p}$, es una contradicción. Esto se verifica construyendo sus tablas de verdad.

p	\bar{p}	$p + \bar{p}$	$p * \bar{p}$
V	F	V	F
F	V	V	F

Tabla 2-10 Tabla de verdad para tautología y contradicción.

Obsérvese que la negación de una tautología es una contradicción ya que siempre es falsa, y la negación de una contradicción es una tautología ya que siempre es verdadera.

Ahora, sea $P(p, q, \dots)$ una tautología, y sean $P_1(p, q, \dots)$, $P_2(p, q, \dots)$ proposiciones cualesquiera. Como el valor de verdad de $P(p, q, \dots)$ no depende de los valores de verdad particulares de sus

variables p, q, \dots , se puede reemplazar p por P_1 , q por P_2, \dots en la tautología $P(p, q, \dots)$ y se tiene aún una tautología. En otras palabras:

Principio de sustitución: Si $P(p, q, \dots)$ es una tautología, entonces $P(P_1, P_2, \dots)$ es una tautología para proposiciones cualesquiera P_1, P_2, \dots

Ejemplo 2-10

Para entender mejor esto, se verá un ejemplo: Por la anterior tabla de verdad, $p + \bar{p}$ es una tautología. Reemplazando p por $(q * r)$ se obtiene la proposición $(q * r) + \overline{(q * r)}$ que por el principio de Sustitución, también debiera ser una tautología. Esto se verifica con la siguiente tabla de verdad:

q	r	$(q * r)$	$\overline{(q * r)}$	$(q * r) + \overline{(q * r)}$
V	V	V	F	V
V	F	F	V	V
F	V	F	V	V
F	F	F	V	V

Tabla 2-11 Tabla de Verdad para una tautología.

2.6 EQUIVALENCIA LOGICA: ALGEBRA DE PROPOSICIONES.

Se dice que dos proposiciones $P(p, q, \dots)$ y $Q(p, q, \dots)$ son *lógicamente equivalentes* o sencillamente *equivalentes* o *iguales*, denotado por

$$P(p, q, \dots) \equiv Q(p, q, \dots)$$

si tienen idénticas tablas de verdad. Por ejemplo considérense las tablas de verdad de $\overline{(p * q)}$ y $\bar{p} + \bar{q}$:

p	q	$p * q$	$\overline{(p * q)}$	\bar{p}	\bar{q}	$\bar{p} + \bar{q}$
V	V	V	F	F	F	F
V	F	F	V	F	V	V
F	V	F	V	V	F	V
F	F	F	V	V	V	V

Tabla 2-12 Tablas de verdad para una equivalencia logica.

Como las tablas de verdad son idénticas, mejor dicho ambas proposiciones son falsas en el primer caso y verdaderas en los otros tres casos, las proposiciones $\overline{(p * q)}$ y $\overline{p} + \overline{q}$ son lógicamente equivalentes y se puede escribir:

$$\overline{(p * q)} \equiv \overline{p} + \overline{q}$$

Ejemplo 2-11.

Se verá como ejemplo: 'Es falso que la presión está alta y la temperatura está baja'.

Este enunciado se puede escribir en la forma $\overline{(p * q)}$ en donde p es 'la presión está alta' y q es 'la temperatura está baja'. Sin embargo, por las tablas de verdad anteriores, $\overline{(p * q)}$ es lógicamente equivalente con $\overline{p} + \overline{q}$. Así el enunciado tiene el mismo significado que el enunciado 'La presión no está alta, o la temperatura no está baja'.

Las proposiciones satisfacen muchas equivalencias lógicas, o leyes fuera de las descritas anteriormente. Algunas de las leyes más importantes, con sus nombres se dan en la Tabla 2-13, donde, t denota una tautología y f denota una contradicción.

Leyes de idempotencia

1a. $p + p \equiv p$

1b. $p * p \equiv p$

Leyes asociativas

2a. $(p + q) + r \equiv p + (q + r)$

2b. $(p * q) * r \equiv p * (q * r)$

Leyes conmutativas

3a. $p + q \equiv q + p$

3b. $p * q \equiv q * p$

Leyes distributivas

4a. $p + (q * r) \equiv (p + q) * (p + r)$

4b. $p * (q + r) \equiv (p * q) + (p * r)$

Leyes de identidad

5a. $p + f \equiv p$

5b. $p * t \equiv p$

6a. $p + t \equiv t$

6b. $p * f \equiv f$

Leyes de complementos

7a. $p + \bar{p} \equiv t$

7b. $p * \bar{p} \equiv f$

8a. $\bar{\bar{t}} \equiv f$

8a. $\bar{\bar{f}} \equiv t$

Ley de Involucion

9. $\bar{\bar{p}} \equiv p$

Leyes de Morgan

10a. $\overline{(p + q)} \equiv \bar{p} * \bar{q}$

10b. $\overline{(p * q)} \equiv \bar{p} + \bar{q}$

Tabla 2-19 Leyes del Algebra de Proposiciones

CAPITULO III

COMPUERTAS LOGICAS

CAPITULO III COMPUERTAS LOGICAS

3.1 ALGEBRA DE BOOLE.

Como se observa en el capítulo anterior las proposiciones tienen algunas propiedades especiales como las mostradas en la Tabla 2-13. Estas propiedades se usan para definir una estructura matemática llamada *álgebra de Boole*, en honor de George Boole (1813-1864).

George Boole estableció los fundamentos de un método para facilitar la elaboración de sistemas lógicos, formulando un álgebra de asociación lógica.

El álgebra de Boole propone reglas matemáticas para llegar a conclusiones lógicas, combinando ciertas condiciones o proposiciones algebraicas.

De aquí que, la finalidad del álgebra de Boole es la de facilitar el análisis y diseño de circuitos lógicos, ya que proporciona una herramienta conveniente para:

1. Expresar en forma algebraica la relación entre las variables mostradas en las tablas de verdad.
2. Mostrar de manera algebraica la relación entrada-salida de los circuitos lógicos.
3. Encontrar circuitos más simples para una función dada.

Por lo tanto, el álgebra de Boole, relaciona las variables binarias con las operaciones lógicas. Las variables se designan por letras tales como a, b, c, etc. Las operaciones lógicas básicas son la función 'O' referida como el signo '+' y llamada algunas veces como *adición*; la función 'Y' referida con el signo de multiplicar '*' y llamada algunas veces como *producto*; y la función 'NO' que se conoce también como complementaria, esta negación se refiere por medio de una línea sobre su símbolo, \bar{a} .

Para definir formalmente el álgebra de Boole: Sea un conjunto B en el cual se han definido las operaciones binarias, + y *, y una operación unitaria, denotada $\bar{\quad}$; sean 0 y 1 dos elementos diferentes de B. Entonces a la sextupla:

$$\{B, +, \times, \bar{}, 0, 1\}$$

se le llama *álgebra de Boole* si se cumplen los siguientes axiomas para elementos a, b, c cualesquiera en el conjunto B :

AXIOMAS DEL ALGEBRA BOOLEANA:

[B₁] Leyes conmutativas:

$$\begin{aligned} (1a) \quad a + b &= b + a \\ (1b) \quad a \times b &= b \times a \end{aligned}$$

[B₂] Leyes distributivas:

$$\begin{aligned} (2a) \quad a + (b \times c) &= (a + b) \times (a + c) \\ (2b) \quad a \times (b + c) &= (a \times b) + (a \times c) \end{aligned}$$

[B₃] Leyes de identidad:

$$\begin{aligned} (3a) \quad a + 0 &= a \\ (3b) \quad a \times 1 &= a \end{aligned}$$

[B₄] Leyes de complemento:

$$\begin{aligned} (4a) \quad a + \bar{a} &= 1 \\ (4b) \quad a \times \bar{a} &= 0 \end{aligned}$$

Como las variables sólo pueden tomar los valores uno y cero, la demostración de los teoremas resulta sencilla.

Frecuentemente se omite el símbolo \times , usándose en lugar yuxtaposición. Entonces (2a) y (2b) se escriben:

$$\begin{aligned} (2a) \quad a + bc &= (a + b)(a + c) \\ (2b) \quad a(b + c) &= ab + ac \end{aligned}$$

A no ser que se indique otra cosa con paréntesis, $\bar{}$ tiene precedencia sobre \times , y \times tiene precedencia sobre $+$.

En el álgebra de Boole, existen una serie de teoremas, de los que se pueden deducir otras leyes o corolarios y la utilización de éstos permite reducir los circuitos lógicos.

A continuación se muestran algunos ejemplos:

Ejemplo 3-1:

Sea B el conjunto de dos elementos, $\{0,1\}$, con operaciones $+$ y $*$ definidas en la figura 3-1. Supongase que los complementos se definen por $\bar{1} = 0$ y $\bar{0} = 1$. B es entonces una álgebra de Boole.

+	1	0
1	1	1
0	1	0

(a)

*	1	0
1	1	0
0	0	0

(b)

Figura 3-1 Tablas de las operaciones lógicas $+$ y $*$

Ejemplo 3-2:

Ahora una generalización del ejemplo 3-1. Sea B_n el conjunto de sucesiones de n bits. Defina la suma, producto y complementos de estas sucesiones bit por bit como en a). Por ejemplo, dados los elementos

$$a = 1101010 \quad b = 1011011$$

de B_7 , se tiene

$$a + b = 1111011 \quad a * b = 1001010 \quad \bar{a} = 0010101$$

O sea las operaciones realizadas no son aritméticas sino lógicas, es decir, en una posición dada, $a+b$ contiene 1 si a o b contienen 1; $a*b$ contiene 1 si a y b contienen 1; y \bar{a} contiene 1 si a no contiene 1, o sea si a contiene 0. B_n es entonces un álgebra de Boole.

3.2 DUALIDAD.

El *dual* de cualquier enunciado en un álgebra de Boole B es el enunciado obtenido al intercambiar las operaciones $+$ y $*$, e intercambiar los correspondientes elementos identidad 0 y 1, en el enunciado original. Por ejemplo, el dual de

$$(1 + a) * (b + 0) = \text{bes}(0 * a) + (b * 1) = b$$

Observe la simetría de los axiomas de un álgebra de Boole B , además que las variables NO se complementan. Resulta que el dual de los axiomas de B es el mismo conjunto original de axiomas. De esta manera, se tiene

Teorema 3-1 (Principio de dualidad): El dual de cualquier teorema en un álgebra de Boole es también un teorema.

En otras palabras, si cualquier enunciado es una consecuencia de los axiomas de un álgebra de Boole, entonces el dual también es una consecuencia de estos axiomas, ya que el enunciado dual se puede probar usando el dual de cada paso en la demostración del enunciado original.

3.3 TEOREMAS BASICOS.

Usando los axiomas $[B_1]$ a $[B_4]$, se obtuvieron los siguientes teoremas:

Teorema 3-2: Sean a, b, c elementos cualesquiera en un álgebra de Boole B

(i) Leyes de idempotencia:

$$\begin{aligned}(5a) \quad a + a &= a \\(5b) \quad a * a &= a\end{aligned}$$

(ii) Leyes de acotamiento:

$$\begin{aligned}(6a) \quad a + 1 &= 1 \\(6b) \quad a * 0 &= 0\end{aligned}$$

(iii) Leyes de absorción:

$$\begin{aligned}(7a) \quad a + (a * b) &= a \\(7b) \quad a * (a + b) &= a\end{aligned}$$

(iv) Leyes asociativas:

$$\begin{aligned}(8a) \quad (a + b) + c &= a + (b + c) \\(8b) \quad (a * b) * c &= a * (b * c)\end{aligned}$$

Teorema 3-3: Sea a un elemento cualquiera en un álgebra de Boole B .

(i) Unicidad del complemento:

Si $a + x = 1$ y $a * x = 0$, entonces $x = \bar{a}$.

(ii) Ley de involución:

Si se complementa dos veces alguna variable se vuelve a obtener la misma variable original: $\overline{\bar{a}} = \bar{\bar{a}} = a$

(iii)

$$(9a) \quad \bar{0} = 1$$

$$(9b) \quad \bar{1} = 0$$

Teorema 3-4: Leyes de DeMorgan.

El complemento de un producto de literales es equivalente a la suma de los complementos de las literales; y el complemento de una suma de literales es equivalente al producto de los complementos de las literales.

$$(10a) \quad \overline{a * b} = \bar{a} + \bar{b}$$

$$(10b) \quad \overline{a + b} = \bar{a} * \bar{b}$$

3.4 EXPRESIONES DE BOOLE: FORMA SUMA DE PRODUCTOS.

Considérese un conjunto de variables como x_1, x_2, \dots, x_n . Una expresión Booleana E en estas variables, algunas veces escrita $E(x_1, x_2, \dots, x_n)$, es una variable o una expresión construida con estas variables que usan las operaciones Booleanas $+$, $*$ y $\bar{\quad}$. Por ejemplo,

$$E = \overline{(x + \bar{y}z)} + \overline{(x y \bar{z} + \bar{x} y)} \quad \text{y} \quad F = \overline{\overline{(x \bar{y} \bar{z} + y)} + \bar{x} z}$$

son expresiones de Boole en x, y y z .

Un literal es una variable o una variable complementada, como x, \bar{x}, y, \bar{y} . Un producto fundamental es un literal o un producto de dos o más literales en los cuales no hay dos literales con una misma variable.

Por ejemplo, $x\bar{z}$, $\bar{x}yz$, x , \bar{y} , $\bar{y}z$, $\bar{x}yz$ son productos fundamentales. Sin embargo, $xy\bar{x}z$ y $xyzy$ no lo son; el primero contiene x y \bar{x} y el segundo contiene y en dos sitios. Observe que:

$$xy\bar{x}z = \bar{x}xyz = 0yz = 0$$

(ya que $x * \bar{x} = 0$, por la Ley de complemento) y

$$xyzy = xyyz = xyz$$

(ya que $y * y = y$, por la Ley de idempotencia). En otras palabras, todo producto de Boole se puede reducir a 0 o a un producto fundamental.

Un producto fundamental, P_1 , se dice que está *incluido* o *contenido* en otro producto fundamental, P_2 , si los literales de P_1 son también literales de P_2 . Por ejemplo, $\bar{x}z$ está incluido en $\bar{x}yz$, ya que \bar{x} y z son literales de $\bar{x}yz$. Sin embargo, $\bar{x}z$ no está contenido en $\bar{x}yz$, ya que \bar{x} no es un literal de $\bar{x}yz$. En caso de que P_1 esté incluido en P_2 , entonces por la Ley de absorción

$$P_1 + P_2 = P_2$$

Por ejemplo, $\bar{x}z + \bar{x}yz = \bar{x}z$.

Una expresión de Boole E se dice que está en forma de *suma de productos* o en forma *minterm* si E es un producto fundamental, o es la suma de dos o más productos fundamentales, ninguno de los cuales está incluido en el otro. Por ejemplo, considerando las expresiones

$$E_1 = \bar{x}z + \bar{y}z + xy\bar{z} \quad \text{y} \quad E_2 = \bar{x}z + \bar{x}yz + \bar{x}yz$$

Aunque la primera expresión, E_1 , es una suma de productos, no está en la forma de suma de productos, ya que $\bar{x}z$ está contenida en $\bar{x}yz$. Sin embargo, por la ley de absorción, E_1 se puede expresar como

$$E_1 = \bar{x}z + \bar{y}z + xy\bar{z} = \bar{x}z + \bar{x}yz + \bar{y}z = \bar{x}z + \bar{y}z$$

que está en forma de suma de productos. La segunda expresión E_2 , ya está en forma de suma de productos.

Toda expresión de Boole no nula E se puede expresar en forma de suma de productos con el siguiente procedimiento:

- (1) Usando las leyes de DeMorgan y la involución, se puede mover la operación de complemento dentro de cualquier paréntesis hasta que finalmente se aplique solamente a variables. E consistirá entonces solamente en sumas y productos de literales.
- (2) Usando la Ley distributiva, se puede transformar E en una suma de productos.
- (3) Usando las Leyes conmutativa, de idempotencia y de complemento se puede transformar cada producto en E, en 0 o en un producto fundamental. Finalmente, usando la ley de absorción, se expresa E en forma de suma de productos.

Ejemplo 3-4:

Considérese la expresión Booleana $E = \overline{(\overline{ab}c)} \overline{(\overline{a} + c)(\overline{b} + \overline{c})}$.
Aplicando el algoritmo anterior como ejemplo:

$$(1) \quad E = (\overline{(\overline{ab} + \overline{c})}) \overline{(\overline{a} + c) + \overline{(\overline{b} + \overline{c})}} = (ab + \overline{c})(\overline{ac} + bc)$$

$$(2) \quad E = ab\overline{ac} + abbc + a\overline{c}c + bc\overline{c}$$

$$(3) \quad E = abc\overline{c} + abc + a\overline{c} + 0 = a\overline{c} + abc$$

Una expresión de Boole $E(x_1, x_2, \dots, x_n)$ se dice que está en *forma completa de suma de productos* si E está en forma de suma de productos, y en cada producto se usan todas las variables (obsérvese que máximo hay 2^n tales productos). Cualquier expresión de Boole E que sea una suma de productos se puede escribir en forma completa de suma de productos. En efecto, si un producto fundamental P de E no usa x_i , entonces se puede multiplicar P por $x_i + \overline{x_i}$; ésto se puede hacer ya que $x_i + \overline{x_i} = 1$. Se continua hasta que todos los productos usen todas las variables. Otra consideración demuestra que la forma completa de suma de productos es única. En resumen:

Teorema 3-5: Toda expresión Booleana no nula $E(x_1, x_2, \dots, x_n)$ se puede expresar en forma completa de suma de productos, y tal representación es única.

En el ejemplo 3-5 se ilustra el anterior teorema.

3.5 COMPUERTAS LÓGICAS.

Los circuitos lógicos se implementan usando circuitos elementales llamados *compuertas lógicas* las cuales tienen una señal de salida definida, en función de la o de las señales de entrada, además del tipo de compuerta que se este empleando. Esa relación de salida en función de las entradas se escribo en una tabla de verdad usando como valores de las variables sólo cero y uno. Las compuertas que se verán ahora son las tres básicas pudiendo existir algunas combinaciones que se verán en el capítulo siguiente. Los símbolos empleados en las compuertas son los presentados por ANSI e ISA.

En la seccion 3.6 se examinan los circuitos lógicos en general.

3.5.1 Compuerta OR.

En la figura 3-2(a) se muestra una compuerta OR con entradas A y B y salida Y. Se denota la salida de una compuerta OR en la forma

$$Y = A + B$$

en donde la 'adición' está definida en la figura 3-1(a).

Comúnmente se requiere saber la salida de un circuito lógico para todas las combinaciones diferentes posibles de bits de entrada. Tales combinaciones son llamadas *sucesiones especiales*. En general, sucesiones especiales para n entradas contendran 2^n bits. El valor de la salida para sucesiones especiales se llama *tabla de verdad* para el circuito. La figura 3-2(b) es la tabla de verdad para la compuerta OR de la fig.3-2(a).

La figura 3-2(c) ilustra, para la compuerta OR de la Fig.3-2 (a), la estrecha relación entre los circuitos lógicos y los circuitos eléctricos de interruptores. Un circuito eléctrico de interruptores normalmente contiene alguna fuente de energía (por ejemplo, una pila),

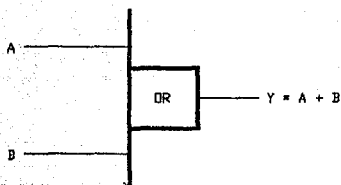


Figura 3-2(a) Compuerta OR

A	B	A + B
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Figura 3-2(b) Tabla de Verdad

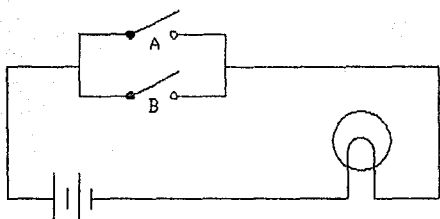


Figura 3-2(c) Circuito en paralelo

un dispositivo de salida (por ejemplo, una lámpara) y uno o más interruptores todos ellos conectados por alambres. Un interruptor es un dispositivo de dos estados que está cerrado (encendido) o abierto (apagado), y la corriente puede pasar a través del interruptor solamente cuando éste está cerrado. En la figura 3-2(c) dos interruptores, A y B, están conectados en paralelo. Hay que notar que la lámpara encenderá, si el interruptor A está cerrado o si el interruptor B está cerrado, o si ambos interruptores están cerrados. Pero esta es precisamente la propiedad descrita en la tabla de verdad para la compuerta OR, en donde 1 denota que el interruptor (A,B) o la lámpara (A+B) está encendido y un 0 denota que está apagado.

Las compuertas OR pueden tener más de dos entradas. La figura 3-3(a) muestra una compuerta OR con cuatro entradas, A, B, C y D, y salida Y.

$$Y = A + B + C + D$$

La salida es cero si y sólo si todas las entradas son 0. Así que las cuatro sucesiones de entrada

A = 10000101
 B = 10100001
 C = 00100100
 D = 10010101

dan

$$Y = 10110101$$

como la sucesión de salida. El circuito análogo de interruptores aparece en la figura 3-3(b); claramente, la lámpara estará encendida si y sólo si uno (o más) de los cuatro interruptores están encendidos.

3.5.2 Compuerta AND.

La figura 3-4(a) representa una compuerta AND, con entradas A y B y salida Y. Se designa la salida de una compuerta AND como el producto de las entradas,

$$Y = A \times B$$

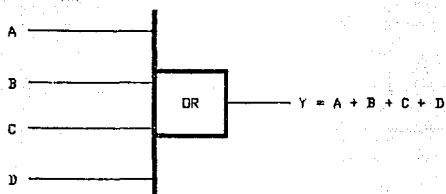


Figura 3-3(a) Compuerta OR
con varias entradas

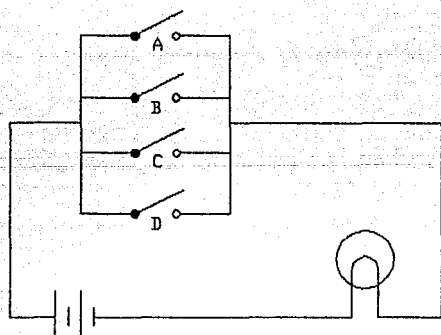


Figura 3-3(b) Circuito en paralelo
con varios Interruptores

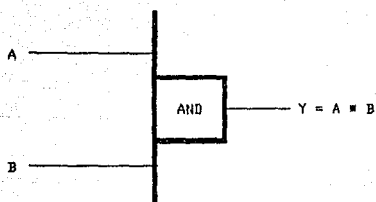


Figura 3-4(a) Compuerta AND

A	B	$A * B$
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Figura 3-4(b) Tabla de Verdad

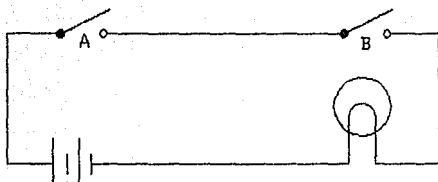


Figura 3-4(c) Circuito en serie

ó, sencillamente $Y=AB$. El valor de Y está determinado por la tabla de 'multiplicación' de la figura 3-1(b).

La tabla de verdad para esta compuerta AND aparece en la figura 3-4(b).

La figura 3-4(c) es un circuito de interruptores que muestra dos interruptores, A y B, conectados en serie. En este caso la lámpara encenderá solamente cuando estén cerrados tanto A como B. Esta es exactamente la propiedad descrita por la tabla de verdad para la compuerta AND, y una vez más se denota por 1 que el elemento del circuito está encendido y por 0 si está apagado.

Una compuerta AND también puede tener más de dos entradas. La figura 3-5(a) muestra una compuerta AND con cuatro entradas, A, B, C y D, y la salida

$$Y = A * B * C * D \quad \text{o} \quad Y = ABCD$$

La salida es uno si y sólo si todas las entradas son 1. Así las cuatro sucesiones de entrada

A - 11100111
B - 01111011
C - 01110011
D - 11101110

dan

$$Y = 01100010$$

como la sucesión de salida. El circuito análogo de interruptores aparece en la figura 3-5(b); claramente, la lámpara estará encendida si todos los interruptores están encendidos.

3.5.3 Compuerta NOT.

La figura 3-6(a) muestra una compuerta NOT, también llamada *invertidor*, con entrada A y salida Y. La compuerta NOT puede tener solamente una entrada, y su salida se representa colocando una barra sobre la entrada.

$$Y = \bar{A}$$

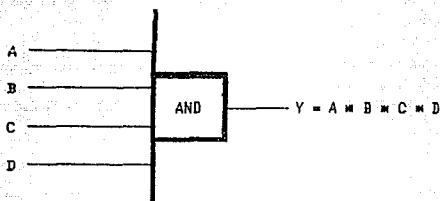


Figura 3-5(a) Compuerta AND con varias entradas

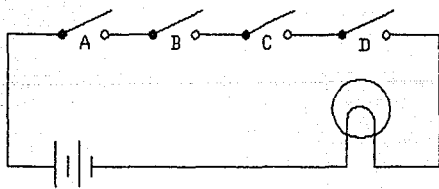


Figura 3-5(b) Circuito en serie con varios interruptores



Figura 3-6(a) Compuerta NOT

A	$Y = \bar{A}$
1	0
0	1

Figura 3-6(b) Tabla de Verdad

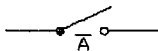


Figura 3-6(c) Interruptor de Complemento

El valor de salida Y es el opuesto (complemento a unos) del valor de la entrada A .

La tabla de verdad para la compuerta NOT aparece en la figura 3-6(b).

Los circuitos de interruptores también contienen el análogo de la compuerta NOT. Específicamente, junto con cualquier interruptor A se puede incluir un interruptor \bar{A} que está abierto cuando A está cerrado, y está cerrado cuando A está abierto. Este interruptor \bar{A} , representado en la figura 3-6(c), se llama *complemento* del interruptor A . (También se podría representar a \bar{A} , como una lámpara en paralelo con el interruptor A , estando la combinación en serie con una pila. Con el interruptor cerrado, la lámpara quedaría en corto circuito (apagada); con el interruptor abierto, la lámpara estaría encendida.)

3.6 CIRCUITOS LOGICOS.

En esta sección se estudian los *circuitos lógicos*. Estos circuitos pueden visualizarse como elementos que contienen uno o más dispositivos de entrada y exactamente un dispositivo de salida. En cada instante cada dispositivo de entrada tiene exactamente un bit de información, o sea, un 0 o un 1, estos datos son procesados por el circuito para dar un bit de salida, o sea, un 0 o un 1 en el dispositivo de salida. Así, a los dispositivos de entrada se les pueden asignar sucesiones de bits (todas las sucesiones con el mismo número de bits) que son procesados por el circuito bit por bit para producir una sucesión con el mismo número de bits.

Las tablas de verdad para las compuertas OR, AND y NOT, figuras 3-2(b), 3-4(b) y 3-6(b), son respectivamente idénticas a las correspondientes proposiciones $p + q$ (disyunción 'p o q'), $p * q$ (conjunción 'p y q'), y \bar{p} (negación 'no p'), las cuales aparecen en la sección 2.4. La única diferencia es que aquí se usan el 0 y el 1 en vez de V y F. Así los circuitos lógicos, de los cuales estas compuertas son los circuitos elementos, satisfacen las mismas leyes de las proposiciones, y así forman un álgebra de Boole. Se escribe este resultado formalmente.

Teorema 3-6: Los circuitos lógicos forman un álgebra de Boole.

Existen muchos circuitos lógicos productos de diferentes combinaciones de las compuertas que los forman. La figura 3-7(a) es un típico circuito AND-OR, con tres entradas, A, B y C, el cual será utilizado como ejemplo.

Dado cualquier circuito lógico L, se quiere averiguar el efecto de L en cualquier entrada arbitraria; usualmente esto se especifica por medio de una tabla de verdad. La tabla de verdad de L se obtiene escribiendo primero L como una expresión de Boole $L(A, B, C, \dots)$, con entradas A, B, C, ..., y calculando entonces la tabla de verdad paso por paso, como se hizo para las tablas de verdad de las proposiciones. Se obtiene la expresión de Boole en sí del circuito siguiendo las entradas a través de todas las compuertas, rotulando cuando sea necesario cada compuerta con sus entradas y su salida.

Ejemplo 3-5:

Como ejemplo considérese el circuito lógico de la figura 3-7(a). Se rotula la primera compuerta AND con las entradas A, B y C, y la salida $A * B * C$; la segunda compuerta AND con las entradas A, \bar{B} y C, y la salida $A * \bar{B} * C$; y la tercera compuerta AND con las entradas \bar{A} y B, y la salida $\bar{A} * B$. Véase la figura 3-7(b). Entonces la salida de la compuerta OR, que es la salida del circuito, es la expresión de Boole.

$$Y = A * B * C + A * \bar{B} * C + \bar{A} * B$$

Esta expresión es una suma de productos.

Ahora se puede encontrar la tabla de verdad del circuito substituyendo en la expresión de Boole las tres sucesiones especiales.

A - 00001111
B - 00110011
C - 01010101

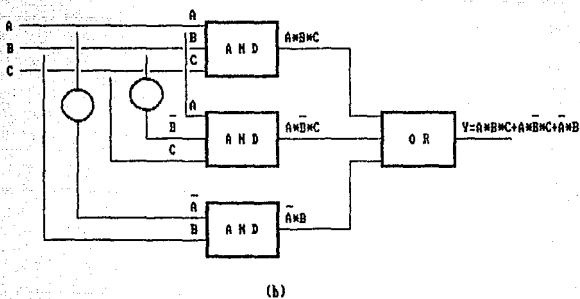
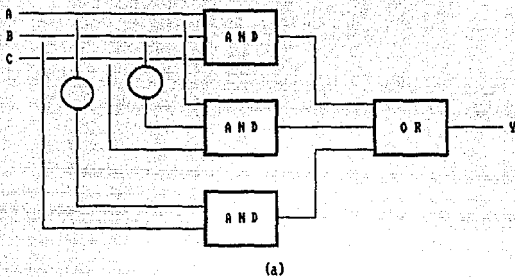


Figura 3-7

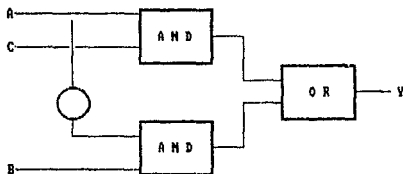


Figura 3-8

Un bit dado en $A * B * C$ será 1 si y sólo si A, B, y C tienen un 1 en esta posición. De donde,

$$A * B * C = 00000001$$

Análogamente

$$A * \bar{B} * C = 00000100$$

$$\bar{A} * B = 00110000$$

Así que,

$$Y = 00110101$$

es la salida. La tabla de verdad consta de las sucesiones de entrada junto con la sucesión de salida:

A	0	0	0	0	1	1	1	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1
C	0	1	0	1	0	1	0	1
Y	0	0	1	1	0	1	0	1

Tabla 3-1 Tabla de Verdad para $Y = A * B * C + A * \bar{B} * C + \bar{A} * B * C$

Como los circuitos lógicos forman un álgebra de Boole, se puede usar los teoremas del álgebra de Boole para simplificar los circuitos. Por ejemplo, la salida Y de la figura 3-7 puede ser simplificada de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 Y &= A * B * C + A * \bar{B} * C + \bar{A} * B * C = AC(B + \bar{B}) + \bar{A}B \\
 &= AC * 1 + \bar{A}B = AC + \bar{A}B
 \end{aligned}$$

Así el circuito lógico de la figura 3-7 puede ser reemplazado por el circuito lógico más sencillo que se muestra en la figura 3-8, cuya salida es $Y = A * C + \bar{A} * B$. Se resalta que los dos circuitos son equivalentes, es decir, tienen la misma tabla de verdad. El problema de circuitos más sencillos y como obtenerlos se verá en las siguientes secciones.

Aunque primero se introdujeron las tablas de verdad en conexión con las proposiciones y luego con los circuitos lógicos, realmente son una propiedad de las expresiones de Boole en general. En efecto, la tabla de verdad (única) de una expresión de Boole equivale a la única forma completa de suma de productos dada por el teorema 3-5. Esta correspondencia surge del hecho que se asigna cualquier combinación de

1s y 0s a las variables, uno y sólo uno de los productos fundamentales que involucran todas las variables toma el valor 1; todos los demás toman el valor 0. Por lo tanto, de la tabla de verdad se puede obtener, por inspección, la forma completa de suma de productos, y recíprocamente.

La forma completa para la suma de productos para la expresión Booleana del ejemplo anterior es:

$$Y = A * B * C + A * \bar{B} * C + \bar{A} * B * (C + \bar{C}) \\ = A * B * C + A * \bar{B} * C + \bar{A} * B * C + \bar{A} * B * \bar{C}$$

Cuando A=1, B=1, C=1, el primer producto fundamental, $A * B * C$, y junto con él Y, es igual a 1; todos los demás productos fundamentales completos son iguales a 0. Análogamente, Y=1 cuando A=1, B=1 o B=0, C=1; cuando A=0, B=1, C=1; y cuando A=0, B=1, C=0. Para todas las demás combinaciones de 1s y de 0s, Y=0. Así se tiene la tabla de verdad

A	1	1	0	0	...
B	1	0	1	1	...
C	1	1	1	0	...
Y	1	1	1	1	0 0 0 0

Tabla 3-2 Tabla de Verdad Alternativa para ejemplo 3-5.

lo cual, excepto por el orden de las columnas, coincide con la tabla de verdad encontrada en el ejemplo anterior.

Recíprocamente, comenzando con la tabla de verdad, uno va leyendo los productos fundamentales correspondientes a los 1s en la fila Y y de allí obtiene la forma completa de suma de productos de Y.

3.7 EXPRESIONES BOOLEANAS MINIMALES PARA SIMPLIFICACION DE CIRCUITOS LOGICOS.

Considérese una expresión E en un álgebra de Boole B. Como E puede representar un circuito lógico, es posible que se quiera una representación de E que en algún sentido sea minimal. Vamos a ver las formas minimales de sumas de productos para E.

Si E es una expresión de Boole de suma de productos, E_L denotará el número de literales en E (contados de acuerdo con la multiplicidad), y E_S denotará el número de sumandos en E. Por ejemplo, si

$$E = abc + \overline{abd} + \overline{abcd} + \overline{adcd}$$

entonces $E_L = 14$ y $E_S = 4$. Sea ahora F una expresión de Boole de suma de productos equivalente a E. Decimos que E es más simple que F si

$$E_L \leq F_L \quad \text{y} \quad E_S \leq F_S$$

y por lo menos una de las relaciones es una desigualdad estricta.

Definición: Una expresión de Boole está en forma minimal de suma de productos (o sencillamente, es una suma minimal) si está en forma de productos y no hay ninguna otra expresión equivalente en forma de suma de productos que sea más simple que E.

Antes de discutir la estructura de sumas minimales, se ve la noción de implicantes primos. Un producto fundamental P se llama un *implicante primo* de una expresión de Boole E si

$$P + E = E$$

pero ningún otro producto fundamental incluido en P tiene esta propiedad. (En el álgebra de Boole de proposiciones, la condición $P + E = E$ se interpreta como 'P implica lógicamente a E'; de donde resulta el término 'implicante'.)

Ejemplo 3-8:

El siguiente problema muestra que $P = x\overline{y}$ es un implicante primo de

$$E = x\overline{y} + x\overline{y}z + x\overline{y}\overline{z}$$

De acuerdo a la definición anterior de E se demuestra que:

$$(a) x\overline{z} + E = E, (b) x + E \neq E, (c) \overline{z} + E \neq E.$$

Como la forma completa de suma de productos es única (teorema 3-5), $A + E = E$, en donde $A \neq 0$, si y sólo si los sumandos de la forma completa de suma de productos para A están entre los sumandos de la forma completa de la suma de productos para E. Así, primero se

encuentra la forma completa de suma de productos para E:

$$E = x\bar{y}(z + \bar{z}) + x\bar{y}\bar{z} + \bar{x}yz = x\bar{y}z + x\bar{y}\bar{z} + x\bar{y}z + \bar{x}yz$$

(a) Exprésese $\bar{x}z$ en forma completa de suma de productos.

$$\bar{x}z = x\bar{z}(y + \bar{y}) = x\bar{y}z + x\bar{y}\bar{z}$$

como los sumandos de $\bar{x}z$ están entre los de E, se tiene $\bar{x}z + E = E$.

(b) Exprésese x en forma completa de suma de productos:

$$x = x(y + \bar{y})(z + \bar{z}) = xyz + x\bar{y}z + x\bar{y}\bar{z} + xy\bar{z}$$

el sumando $x\bar{y}z$ de x no es un sumando de E; así que $x + E \neq E$.

(c) Exprésese \bar{z} en forma completa de suma de productos:

$$\bar{z} = \bar{z}(x + \bar{x})(y + \bar{y}) = x\bar{y}\bar{z} + x\bar{y}z + \bar{x}\bar{y}\bar{z} + \bar{x}\bar{y}z$$

El sumando de $x\bar{y}z$ de \bar{z} no es un sumando de E; así que $\bar{z} + E \neq E$.

La importancia de los implicantes primos se demuestra a continuación.

Teorema 3-7: Si una expresión de Boole E está en forma minimal de suma de productos, entonces cada sumando de E es un implicante primo de E.

Así el llamado *método del consenso*, discutido en los siguientes ejemplos, se puede usar para representar cualquier expresión de Boole como la suma de todos sus implicantes primos.

Ejemplo 3-7:

Como ejemplo sean F_1 y F_2 productos fundamentales, tales que exactamente una variable, por ejemplo x_k , aparezca complementada en sólo uno de P_1 y P_2 y no complementada en el otro. El *consenso* de P_1 y P_2 es, entonces, el producto (sin repetición) de los literales de P_1 y los literales de P_2 después de que x_k y \bar{x}_k sean suprimidas. (No se define un consenso de $P_1 = x$ y $P_2 = \bar{x}$.)

(a) El consenso de los siguientes pares será

(1) $xyzs$ y $\bar{x}y\bar{t}$ consenso = $\bar{x}zst$

(2) y y $\bar{x}y$ consenso = x

(3) $\bar{x}yz$ y $\bar{x}y\bar{t}$ no tienen ningún consenso ya que ninguna variable aparece no complementada en uno de los productos y complementada en el otro.

(4) $\bar{x}yz$ y $xyz\bar{t}$ no tienen ningún consenso, ya que tanto x como z aparecen complementadas en uno de los productos y no complementadas en el otro.

b) Demuestre si Q es consenso de P_1 y de P_2 .

Como los literales conmutan, se puede suponer sin perder generalidad que

$$P_1 = a_1 a_2 \dots a_r t$$

$$P_2 = b_1 b_2 \dots b_s \bar{t}$$

$$Q = a_1 a_2 \dots a_r b_1 b_2 \dots b_s$$

Ahora, $Q = Q(t + \bar{t}) = Qt + Q\bar{t}$. Debido a que Qt contiene a P_1 ,

$P_1 + Qt = P_1$; y porque $Q\bar{t}$ contiene a P_2 , $P_2 + Q\bar{t} = P_2$. Así

$$P_1 + P_2 + Q = P_1 + P_2 + Qt + Q\bar{t} = (P_1 + Qt) + (P_2 + Q\bar{t}) = P_1 + P_2$$

Se tiene otro ejemplo considerando una expresión de Boole $E = P_1 + P_2 + \dots + P_n$, en donde las P_i son productos fundamentales. Se llamará *método de consenso* a la aplicación de los dos pasos siguientes a E :

Paso (1): Suprime cualquier producto fundamental P_i que incluya cualquier otro tipo de producto fundamental P_j . (Permissible por la Ley de Absorción).

Paso (2): Sume el consenso Q de P_i y de P_j cualesquiera, siempre y cuando Q no incluya ninguno de las P_i . (Permissible por el ejemplo anterior.)

Un teorema fundamental en el álgebra de Boole dice que el método de consenso, aplicado a cualquier E suma de Boole de productos, parará eventualmente, y luego E será la suma de todos sus implicantes primos.

Ejemplo 3-8: Aplíquese el método de consenso a

$$E = xyz + \overline{xz} + \overline{xyz} + \overline{xyz} + \overline{xyz}$$

Se tiene

$$\begin{aligned} E &= xyz + \overline{xz} + \overline{xyz} + \overline{xyz} && (\overline{xyz} \text{ incluye a } \overline{xz}) \\ &= \overline{xyz} + \overline{xz} + \overline{xyz} + \overline{xyz} + xy && (\text{Consenso de } \overline{xyz} \text{ y } \overline{xyz}) \\ &= \overline{xz} + \overline{xyz} + xy && (\overline{xyz} \text{ y } \overline{xyz} \text{ incluyen a } xy) \\ &= \overline{xz} + \overline{xyz} + \overline{xy} + \overline{xy} && (\text{Consenso de } \overline{xz} \text{ y } \overline{xyz}) \\ &= \overline{xz} + \overline{xy} + \overline{xy} && (\overline{xyz} \text{ incluye a } \overline{xy}) \\ &= \overline{xz} + \overline{xy} + \overline{xy} + \overline{yz} && (\text{Consenso de } \overline{xz} \text{ y } \overline{xy}) \end{aligned}$$

Obsérvese que ahora ninguno de los dos pasos del método de consenso se puede aplicar. (El consenso de los primeros dos productos incluye -en realidad es igual- al último producto; el consenso de los últimos dos productos es igual al primer producto.) Así que ahora se expresa E como la suma de sus implicantes primos, \overline{xz} , \overline{xy} , \overline{xy} , y \overline{yz} .

Una manera de encontrar una suma minimal para E es expresar cada implicante primo en forma completa de suma de productos, y quitar uno por uno aquellos implicantes primos cuyos sumandos aparecen entre los sumandos de los implicantes primos que quedan. Por ejemplo, se demostró en el último ejemplo que

$$E = \overline{xz} + \overline{xy} + \overline{xy} + \overline{yz}$$

está expresado como la suma de todos sus implicantes primos. Se tiene

$$\begin{aligned} \overline{xz} &= \overline{xz}(y + \overline{y}) = \overline{xyz} + \overline{xz\overline{y}} \\ \overline{xy} &= \overline{xy}(z + \overline{z}) = \overline{xyz} + \overline{xy\overline{z}} \\ \overline{xy} &= \overline{xy}(z + \overline{z}) = \overline{xyz} + \overline{xy\overline{z}} \\ \overline{yz} &= \overline{yz}(x + \overline{x}) = \overline{xyz} + \overline{\overline{x}yz} \end{aligned}$$

Ahora se puede quitar \overline{xz} , puesto que sus sumandos \overline{xyz} y \overline{xyz} aparecen entre los otros. Así que

$$E = \overline{xy} + \overline{xy} + \overline{yz}$$

y esto está en forma de suma minimal para E, ya que ninguno de los implicantes primos es superfluo, es decir, se puede quitar sin cambiar E. Obsérvese que, en vez de xz , se pudo haber eliminado a yz -lo cual muestra que la suma minimal para una expresión de Boole no es necesariamente única.

El método anterior para encontrar formas de suma minimal para expresiones de Boole E es directo, pero eficiente. En la sección siguiente, se verá un método geométrico para encontrar formas de sumas minimales cuando el número de variables no es muy grande.

3.8 MAPAS DE KARNAUGH.

Los mapas de Karnaugh son maneras pictóricas de encontrar implicantes primos y formas minimales de sumas para las expresiones de Boole que involucran máximo seis variables. Sólo se verán los casos de dos, tres o cuatro variables.

En los mapas de Karnaugh, se representarán por cuadrados los productos fundamentales en las mismas variables. Se dice que dos de tales productos fundamentales P_1 y P_2 son *adyacentes* si P_1 y P_2 difieren en exactamente un literal, lo cual tiene que ser una variable complementada en un producto y no complementada en el otro. Así que la suma de dos productos adyacentes será un producto fundamental con un literal menos. Por ejemplo,

$$\begin{aligned}xyz + x\bar{y}z &= xz(y + \bar{y}) = xz(1) = xz \\ \bar{x}yz + \bar{x}y\bar{z} &= \bar{x}y(z + \bar{z}) = \bar{x}y(1) = \bar{x}y\end{aligned}$$

Obsérvese que $\bar{x}yzt$ y $xy\bar{z}t$ no son adyacentes. Note también que $xy\bar{z}$ y xyz no aparecerán en el mismo mapa de Karnaugh, ya que involucran distintas variables. En el contexto de los mapas de Karnaugh, a veces se intercambian los términos 'cuadrados' y 'productos fundamentales'.

3.8.1 Caso de dos variables.

El mapa de Karnaugh que corresponde a las expresiones de Boole $E(x,y)$ se visualiza en la fig.3-9(a). Se puede ver el mapa de Karnaugh como un diagrama de Venn en el que x está representado por los puntos en la mitad superior del mapa, sombreada de la fig.3-9(b), y y está representado por los puntos en la mitad izquierda del mapa, sombreada de la fig.3-9(c). Así que \bar{x} está representado por los puntos de la mitad inferior del mapa, y \bar{y} está representado por los puntos de la mitad derecha del mapa. De esta manera, los cuatro posibles productos fundamentales con dos literales,

$$xy \quad \bar{x}\bar{y} \quad \bar{x}y \quad x\bar{y}$$

están representados por los cuatro cuadrados del mapa, tal como se han rotulado en la fig.3-9(d). Dos de tales cuadrados son adyacentes en el sentido definido anteriormente si y sólo si están geomótricamente adyacentes (tienen un lado en común).

Cualquier expresión de Boole completa de suma de productos $E(x,y)$ está representada en un mapa de Karnaugh marcando los cuadrados apropiados.

Ejemplo 3-9:

Considérese

$$E_1 = xy + \bar{x}\bar{y} \quad E_2 = xy + \bar{x}y + \bar{x}\bar{y} \quad E_3 = xy + \bar{x}\bar{y}$$

están representados respectivamente en la figs.3-10(a), (b), (c). Los óvalos se explicarán más adelante.

Un implicante primo de $E(x,y)$ será una pareja de cuadrados adyacentes o un cuadrado aislado, es decir, un cuadrado que no está adyacente a ningún otro cuadrado de $E(x,y)$. Por ejemplo, E_1 consta de dos cuadrados adyacentes designados por el óvalo e en la fig. 3-10(a). Esta pareja de cuadrados adyacentes representa la variable x , así que x es un implicante primo (el único) de E_1 y

$$E_1 = x$$

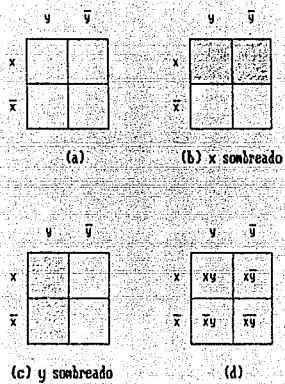


Figura 3-9

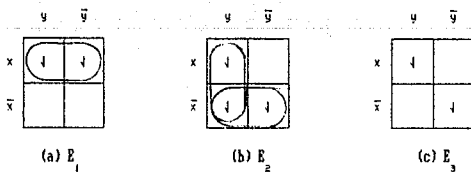


Figura 3-10

es su suma minimal. E_2 sin embargo, contiene dos parejas de cuadrados adyacentes (designadas por los dos óvalos) que incluyen todos los cuadrados de E_2 . La pareja vertical representa a y , y la pareja horizontal a \bar{x} ; así que y y \bar{x} son implicantes primos de E_2 y

$$E_2 = \bar{x} + y$$

es su suma minimal. Por otra parte, E_3 está formado por dos cuadrados aislados que representan a xy y \overline{xy} ; así que xy y \overline{xy} son implicantes primos de E_3 y

$$E_3 = xy + \overline{xy}$$

es su suma minimal.

3.8.2 Caso de tres variables.

El mapa de Karnaugh que corresponde a las expresiones de Boole $E(x,y,z)$ se representa en la fig.3-11(a). De nuevo se puede considerar el mapa de Karnaugh como un diagrama de Venn, con la variable x aún representada por los puntos de la mitad superior del mapa, como en la fig.3-11(b), y la variable y aún representada por los puntos de la mitad izquierda del mapa, como en la fig.3-11(c). La nueva variable z está representada por los puntos de los cuartos izquierdo y derecho del mapa, sombreados en la fig.3-11(d). Así, \bar{x} está representado por los puntos de la mitad inferior del mapa, \bar{y} por los puntos de la mitad derecha del mapa, y \bar{z} por los puntos de los dos cuartos de la mitad del mapa. Obsérvese que hay exactamente ocho productos fundamentales con tres literales,

$$xyz \quad \overline{xy}\bar{z} \quad \overline{xy}z \quad x\overline{y}\bar{z} \quad x\overline{y}z \quad x\overline{y}\bar{z} \quad x\overline{y}z \quad \overline{xy}\bar{z}$$

y que estos ocho productos fundamentales corresponden a los ocho cuadrados en el mapa de Karnaugh, fig.3-11(a) de la manera obvia. Para que puedan ser geoméricamente adyacentes, cada pareja de productos adyacentes de la fig.3-11(a), es necesario identificar los bordes

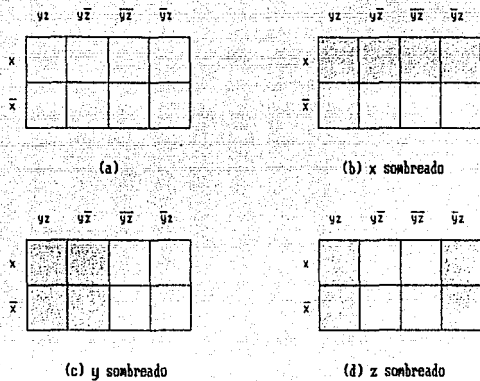


Figura 3-11

izquierdo y derecho del mapa. En otras palabras si se fuera a recortar, doblar y pegar por los bordes identificados, se debería obtener un cilindro (fig.3-12) con la propiedad de que productos adyacentes están representados por 'cuadrados' con un borde en común.

Por un rectángulo básico en el mapa de Karnaugh de tres variables, fig.3-11(a) o fig.3-12, se quiere decir un cuadrado, dos cuadros adyacentes, o cuatro cuadrados que forman un rectángulo o de uno por cuatro o de dos por dos. Estos rectángulos básicos corresponden a los productos fundamentales de tres, dos y un literal, respectivamente. Además, el producto fundamental representado por un rectángulo básico es el producto de exactamente aquellos literales que aparecen en cada cuadrado del rectángulo.

Cualquier expresión Booleana completa de suma de productos $E(x,y,z)$ está representada en el mapa de Karnaugh marcando los cuadrados apropiados. Un implicante primo de E será un rectángulo básico maximal de E , es decir, un rectángulo básico que no está contenido en ningún otro rectángulo básico más grande. Una suma minimal para E consistirá de un recubrimiento minimal de E , es decir, un número minimal de rectángulos básicos maximales que juntos incluyen todos los cuadrados de E .

Ejemplo 3-10:

Como ejemplo considérense las tres expresiones de Boole completas siguientes de suma de productos en las variables x, y y z .

$$E_1 = xyz + \overline{xy}\overline{z} + \overline{xy}z + \overline{x}yz$$

$$E_2 = xyz + \overline{xy}\overline{z} + \overline{xy}z + \overline{x}yz + \overline{x}y\overline{z}$$

$$E_3 = xyz + \overline{xy}\overline{z} + \overline{xy}z + \overline{x}yz + \overline{x}y\overline{z}$$

E_1 , E_2 y E_3 están representados en la figura 3-13 marcando los cuadrados apropiados en los mapas de Karnaugh. Se muestra cómo usar estos mapas para encontrar las sumas minimales para las expresiones.

a) Véase que E_1 tiene tres implicantes primos (rectángulos básicos maximales), que han sido marcados con un óvalo (o con un círculo);

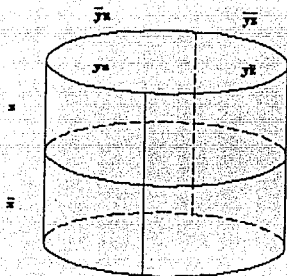


Figura 3-1B
 Mapa do Karnaugh Cilindrico
 para Tres Variables

éstos son xy , $y\bar{z}$, y \overline{xyz} . Se necesitan los tres para recubrir E_1 ; así que la suma minimal para E_1 es

$$E_1 = xy + y\bar{z} + \overline{xyz}$$

b) Obsérvese que E_2 tiene dos implicantes primos, que han sido encerrados. Uno es los dos cuadrados adyacentes que representa a xy , y el otro es el cuadrado de dos por dos (que abarca los bordes identificados) que representa a z . Se necesitan ambos para poder recubrir a E_2 , así que la suma minimal para E_2 es

$$E_2 = xy + z$$

c) Como está indicado por los óvalos, E_3 tiene cuatro implicantes primos, xy , $y\bar{z}$, \overline{xz} , y \overline{xy} . Sin embargo, sólo se necesita uno de los dos que han sido encerrados de una manera punteada, o sea, uno de $y\bar{z}$ o \overline{xy} para un recubrimiento minimal de E_3 . Así, E_3 tiene dos sumas minimales:

$$E_3 = xy + y\bar{z} + \overline{xy} = xy + \overline{xz} + \overline{xy}$$

3.8.3 Caso de cuatro variables.

El mapa de Karnaugh que corresponde a las expresiones de Bóolo $E(x, y, z, t)$ está representado en la figura 3-14. Cada uno de los dieciséis cuadros del mapa corresponde a uno de los dieciséis productos fundamentales.

$$xyzt \quad xy\bar{z}t \quad x\bar{y}zt \quad x\bar{y}\bar{z}t \quad \dots \quad \bar{x}\bar{y}\bar{z}\bar{t}$$

tal como lo indican los rótulos de la fila y la columna del cuadrado. Las líneas superior e izquierda están rotuladas de tal manera que los productos adyacentes difieran en, precisamente, un literal. De nuevo es necesario que identificar el borde izquierdo con el borde derecho (tal como se hizo con las tres variables), pero también se tiene que identificar el borde superior con el borde inferior. (Estas identificaciones hacen sugerir una superficie en forma de rosón que se llama toro).

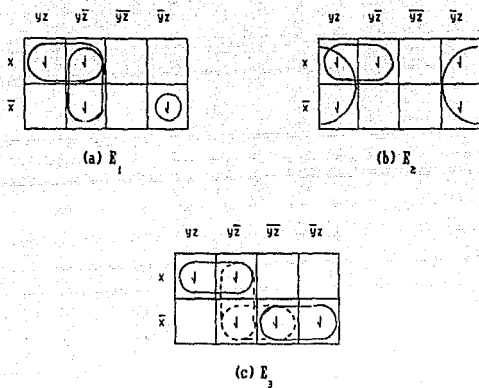


Figura 3-13 Mapa de Karnaugh Ejemplo 3-10

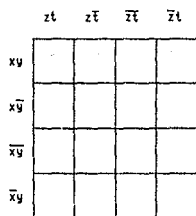


Figura 3-14 Mapa de Karnaugh para cuatro variables

Un rectángulo básico es un cuadrado, dos cuadrados adyacentes, cuatro cuadrados que forman un rectángulo de uno por cuatro o dos por dos, u ocho cuadrados que forman un rectángulo de dos por cuatro. Estos rectángulos corresponden a productos fundamentales con cuatro, tres, dos y un literal, respectivamente. De nuevo, los rectángulos básicos maximales son los implicantes primos. La técnica de minimización para una expresión de Boole $E(x, y, z, t)$ es la misma que antes.

Ejemplo 3-11:

Como ejemplo ahora considérense las tres expresiones de Boole E_1 , E_2 , E_3 en las variables x, y, z, t que están dadas en los mapas de Karnaugh en la fig.3-15, por ejemplo,

$$E_1 = \overline{xyz\bar{t}} + \overline{xy\bar{z}t} + \overline{xyzt} + \overline{xyz\bar{t}} + \overline{xyzt} + \overline{xyzt} + \overline{xyzt}$$

Se usan estos mapas para encontrar las formas de suma minimal.

- a) El rectángulo básico maximal de dos por dos representa a \overline{yz} ya que solamente \overline{y} y z aparecen en todos los cuatro cuadrados. La pareja horizontal de cuadrados adyacentes representa a $xy\overline{z}$, y los cuadrados adyacentes que traslapan los bordes superior e inferior representan a \overline{yzt} . Como se necesitan todos los tres rectángulos para un recubrimiento minimal

$$E_1 = \overline{yz} + xy\overline{z} + \overline{yzt}$$

es la suma minimal para E_1 .

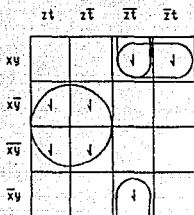
- b) Solamente \overline{y} aparece en todos los ocho cuadrados del rectángulo básico maximal de dos por cuatro y la pareja designada de cuadrados adyacentes representa a $xz\overline{t}$. Como se necesitan ambos rectángulos para un recubrimiento minimal,

$$E_2 = \overline{y} + xz\overline{t}$$

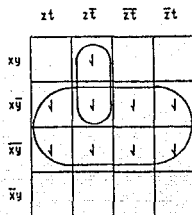
es la suma minimal para E_2 .

- c) Los cuatro cuadrados de las esquinas forman un rectángulo básico maximal dos por dos que representa yt , ya que solamente y y t

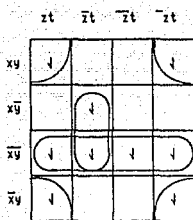
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



(a) E_1



(b) E_2



(c) E_3

Figura 3-15 Mapa de Karnaugh ejemplo 3-12

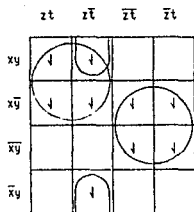


Figura 3-16 Mapa de Karnaugh
Productos Fundamentales

aparecen en todos los cuatro cuadrados. El rectángulo básico maximal cuatro por uno representa \overline{xy} , y los dos cuadrados adyacentes representan \overline{yzt} . Como se necesitan todos los tres rectángulos para un recubrimiento minimal,

$$E_3 = yz + \overline{xy} + \overline{yzt}$$

es la suma minimal de E_3 .

Observación: Supóngase que una expresión de Boole E es una suma de productos fundamentales. Se hace hincapié en que no es necesario poner E en forma completa de suma de productos para representarlo por un mapa de Karnaugh. Sea,

$$E = \overline{xy} + xyz + \overline{xyz} + \overline{xyzt}$$

Simplemente se marcan todos los cuadrados que representan cada producto fundamental. Es decir, se marcan todos los cuatro cuadrados que representan a \overline{xy} , los dos cuadrados que representan a xyz , los dos cuadrados que representan a \overline{xyz} , y el cuadrado que representa a \overline{xyzt} , como en la fig. 3-16. (En este caso particular, no surgen marcas multiples. En general, no se marcan los cuadrados que han sido previamente marcados porque pertenecen a otro producto fundamental.) Un recubrimiento minimal del mapa consiste en los tres rectángulos básicos maximales designados. Así que

$$E = xz + \overline{yz} + \overline{yzt}$$

es una suma minimal para E .

3.9 CIRCUITOS MINIMALES AND-OR.

Se puede aplicar la anterior teoría a un importante problema de diseño de circuitos, ya que tiene dos versiones un poco diferentes: (1) La construcción de un circuito AND-OR cuya expresión de Boole está en la forma de suma minimal (un circuito minimal AND-OR) y que es

equivalente a un circuito lógico dado L. (2) La construcción de un circuito minimal AND-OR que tendrá una tabla de verdad prescrita.

El ejemplo 3-13 muestra como se maneja la versión (2). En cuanto a la versión (1), podría ser reducida a la versión (2) (poniendo la expresión de Boole para L en forma completa de suma de productos o usando sucesiones especiales para generar la tabla de verdad) o se podría comenzar sencillamente con una forma de suma de productos para L (obtenida, por ejemplo, por el algoritmo de la sección 3.4).

Ejemplo 3-12:

Por ejemplo, se rediseña el circuito L de la fig.3-17(a) para que sea un circuito minimal AND-OR.

Primero, se encuentra la salida del circuito rotulando sucesivamente la(s) entrada(s) y salida de cada compuerta hasta llegar a la salida del circuito, como en la fig.3-17(b). Luego, se reduce L a una suma de productos, aplicando las leyes del álgebra de Boole:

$$L = AB + \overline{(A + \overline{B})} + \overline{\overline{AB}} = AB + \overline{AB} + A + \overline{B} = A + \overline{B}$$

en donde en el último paso se ha usado dos veces la ley de absorción. La expresión final es, obviamente, una suma minimal para L. La fig.3-17(c) muestra el correspondiente circuito minimal AND-OR.

Ejemplo 3-13:

Como otro ejemplo se diseña un circuito minimal AND-OR L de tres entradas que tenga la tabla de verdad.

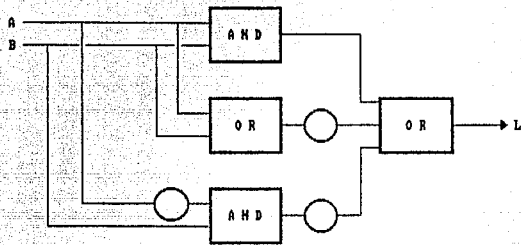
A	0	0	0	0	1	1	1	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1
C	0	1	0	1	0	1	0	1
L	1	1	0	0	1	1	0	1

Tabla 3-3 Tabla de Verdad Circuito AND-OR de Tres Entradas

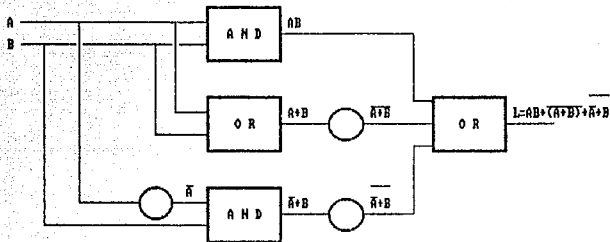
De la tabla de verdad (véase sec.3-6) se puede obtener la forma completa de suma de productos para L:

$$L = \overline{A} * \overline{B} * \overline{C} + \overline{A} * \overline{B} * C + A * \overline{B} * \overline{C} + A * \overline{B} * C + A * B * C$$

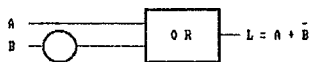
El correspondiente mapa de Karnaugh aparece en la fig.3-18(a).



(a)

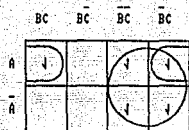


(b)

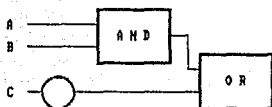


(c)

Figura 3-17 Circuito Logico Ejemplo 3-12



(a)



(b)

Figura 3-18 Mapa de Karnaugh y Circuito Logico
Ejemplo 3-13

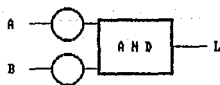
(a) $L = A + \bar{B}$ (b) $L = A * \bar{B}$

Figura 3-19 Mapa de Karnaugh y Circuito Logico
Ejemplo 3-14

Obsérvese que L tiene dos implicantes primos \bar{B} y AC , en su recubrimiento minimal; así que

$$L = \bar{B} + AC$$

es una suma minimal para L . La fig.3-18(b) da el correspondiente circuito minimal AND-OR para L .

Ejemplo 3-14:

Como un último ejemplo considérese la compuerta NOR (la cual se presenta en el siguiente capítulo). Para este tipo de compuerta fig.3-19(a) se logran dos expresiones de Boole equivalentes (por la ley de DeMorgan), mostradas en la fig.3-19. De los dos circuitos, la fig.3-19(b) es un circuito minimal AND-OR, porque $L=A+\bar{B}$ es una suma minimal; sin embargo, la fig.3-19(a) involucra el mínimo número de elementos de circuito. Este ejemplo muestra que el circuito AND-OR 'más simple' puede no permanecer 'el más simple' cuando se compara con el circuito equivalente pero no AND-OR.

CAPITULO IV

DIAGRAMAS LOGICOS DE CONTROL

CAPITULO IV DIAGRAMAS LOGICOS DE CONTROL.

4.1 USO DE SIMBOLOS LOGICOS.

Un diagrama lógico de control puede ser más o menos detallado dependiendo del alcance que se quiera tener en el mismo. La cantidad de detalle en un diagrama lógico depende del grado de refinamiento, de la lógica y de la información adicional, esencialmente no-lógica que sea incluida. Por ejemplo, en ocasiones los diagramas lógicos pueden llegar a ser muy complicados y un poco confusos, como complemento a estos y con el fin de proporcionar herramientas para un buen y rápido entendimiento se pueden añadir ciertas notas explicatorias al diagrama para indicar el razonamiento lógico. Informaciones no-lógicas (identificación de documentos de referencia, números de identificación de instrumentos y equipos, marcas de terminales, etc.) pueden también ser añadidas si así se desea.

Como se había mencionado anteriormente los diagramas lógicos de control son documentos utilizados en la comunicación de las diferentes áreas involucradas en el proyecto, y estos no representan a la instalación física en sí de los elementos que participan en el circuito de control.

La existencia de una señal lógica puede corresponder físicamente a la existencia o a la no existencia de la señal de un instrumento, dependiendo del tipo particular de instrumentación empleada y de las filosofías de diseño seleccionadas. Por ejemplo, un diseñador puede elegir una alarma de flujo alto actuada por un interruptor eléctrico el cual hace contacto abierto en flujos elevados; por otro lado la misma alarma puede ser diseñada para que actúe cuando el interruptor eléctrico hace contacto cerrado a flujo elevado. Así, la condición de flujo elevado puede ser representada físicamente por la ausencia de una señal eléctrica o por la presencia de la misma. Sin embargo como parte de las filosofías de diseño más comunes, todas las señales de control a condiciones normales de proceso deben de estar energizadas, es decir, los dispositivos o interruptores deben estar haciendo

contacto cerrados o estar 'habilitados', de tal forma que cuando un disturbio se presente estas se desenergicen.

Por ejemplo, para alambrear los interruptores de control de nivel de un tanque se considera que el interruptor de bajo nivel debe ser 'alambreado normalmente abierto', así cuando el tanque se comienza a llenar al inicio de su operación, el elemento será energizado cuando el nivel de líquido alcance el punto de ajuste de este dispositivo, es decir, arriba del punto de ajuste en las condiciones normales de operación, así cuando se presenta un disturbio y el nivel baja el elemento se desenergiza parando por ejemplo a la bomba de descarga. Por otro lado el interruptor de alto nivel debe estar conectado a la inversa de tal forma que al estar trabajando a condiciones normales de operación el instrumento esté energizado, esto se consigue 'alambreado normalmente cerrado' al interruptor. Así en el caso de que se presente un evento y el nivel suba más allá de lo permitido el elemento se desenergizará y por medio de un inverteador energizará la bomba de descarga para que esta comience a funcionar.

La filosofía analizada es similar para otras variables como son la presión y la temperatura. El diagrama lógico no intenta relacionar la señal lógica a la señal de un instrumento de cualquier tipo específico.

El flujo de información es representado por líneas que interconectan a las compuertas lógicas. La dirección normal de flujo es de derecha a izquierda o de arriba hacia abajo. Se puede añadir flechas a las líneas de flujo donde sean necesarias para obtener una mayor claridad, y deben ser añadidas a líneas de flujo que no estén en la dirección normal.

Un resumen del estatus de un sistema de operación puede ser puesto en cualquier lugar del diagrama donde pueda ser útil, ya que una condición binaria específica algunas veces no es clara cuando se involucra un elemento que no tiene sólo dos estados específicos. Por ejemplo, si se está en un estado en el que una válvula no está cerrada, esto podría significar que a) la válvula está completamente abierta, o b) que simplemente la válvula no está cerrada: que puede ser cualquier posición desde casi cerrada hasta completamente abierta. Para que la comunicación entre escritor y lector del diagrama lógico

sea más eficiente, el diagrama debe ser interpretado literalmente. Entonces, la posibilidad b) es la incorrecta.

Si una válvula es una válvula sólo de apertura y cierre, es necesario seguir uno de los siguientes puntos para evitar incomprensión:

- 1) Desarrollar el diagrama lógico de tal forma que diga exactamente lo que se quiere decir. Si se quiere decir que la válvula está abierta entonces esto es lo que se debe decir y no que está en una posición no cerrada.
- 2) Tener una nota separada especificando que la válvula siempre asume ya sea la posición completamente cerrada o completamente abierta.

Como contraste, un motor accionando a una bomba puede estar sólo operando o parado, evitando así esas situaciones intermedias tan especiales, porque para decir que la bomba no está operando usualmente claramente se denota que se encuentra parada.

Un sistema lógico que tiene una declaración de entrada obtenida indirectamente, puede conducir a conclusiones erróneas. Por ejemplo, se puede llegar a asumir que el flujo de un fluido existe porque el motor de una bomba está energizado y esto puede llegar a ser falso debido a la presencia de una válvula cerrada, de una flecha rota, o de algún otro disturbio que se pueda presentar. Así las declaraciones basadas en medidas directas de que una cierta condición específicamente existe o no existe son generalmente más confiables.

Una operación de proceso puede ser afectada por la pérdida del suministro de servicios -electricidad, aire de instrumentos, u otros- a los elementos lógicos. Con el fin de tomar estas posibilidades en cuenta, es necesario considerar los efectos de la pérdida de algún servicio de energía, para tales casos esto puede ser introducido como entradas lógicas al sistema. Los diagramas lógicos de control no necesariamente tienen que cubrir el efecto de los suministros de energía en los sistemas de procesos, pero esto puede hacerlo en algunos casos incompleto.

Es común encontrar un dibujo o conjuntos de dibujos usando símbolos gráficos que son similares o idénticos en forma o configuración a otros que tienen significados diferentes, esto se debe a que han utilizado diferentes fuentes de información las cuales manejan los

símbolos en diferente forma. Para evitar confusiones es conveniente utilizar un mismo patrón de símbolos uniformemente y poner notas aclaratorias o de referencia, cartas de comparación que ilustren y definan aquellos símbolos en conflicto. Este requisito es especialmente crítico si los símbolos empleados en las diferentes disciplinas que utilizarán los documentos no son los mismos, provocando así malos entendidos que a su vez pueden provocar malas instalaciones y posibles daños al personal de operación o al equipo en cuestión.

4.2 DESCRIPCIÓN DE SÍMBOLOS USADOS EN LOS DIAGRAMAS LÓGICOS DE CONTROL.

4.2.1. LINEAS DE INFORMACIÓN.

Como se ha visto, se utilizan los términos señal '0' (cero) y señal '1' (uno) frecuentemente, y se ha entendido con esto 'No Existe señal' o 'No Mando señal' para el número cero y 'Existe señal' o 'Mando señal' para el uno.

Estas señales son las que interrelacionan las unidades de entrada con las unidades de salida y entre ellas con las funciones lógicas.

Entonces una señal de información puede ser cero o uno, sin embargo no debe concluirse con ello que la señal uno tiene o requiere mayor nivel de energía que la señal cero. Tampoco indican con que tipo de servicio las señales serán realizadas, pues esto depende de la tecnología usada.

La circulación de señales es representada en los diagramas lógicos de control por medio de líneas rectas, cuyo sentido se indica en ocasiones mediante una flecha en el extremo de cada línea de información. Es muy recomendable que al realizar un diagrama lógico de control se eviten en lo posible los cruces de líneas de información con el fin de no volver confuso el diagrama.

Cuando se llegan a presentar ramales o nodos se representan con un punto en el cruce de las líneas; así mismo, el sentido de flujo de las señales, deberá ser indicado claramente con flechas cercanas al ramal o nodo como se muestra en la Fig.4.1.

DESCRIPCION

SIMBOLO

Línea de información



Nodo o ramales



Cruce de líneas
de información.



Fig.4.1 Símbolos de líneas de información.

Entre las unidades de entrada y las correspondientes de salida, habrá componentes que permitan modificar las señales de información como sigue:

- a) Modificadas a través de funciones lógicas.
- b) Retenidas por un tiempo dado. Funciones de retraso.
- c) Retenidas por un tiempo indefinido. Funciones de memoria.

4.2.2 UNIDADES DE ENTRADA Y DE SALIDA.

Las unidades de entrada así como las unidades de salida se representan por medio de símbolos generales que denotan el funcionamiento deseado y permitirán seleccionar el mecanismo que se juzgue el más adecuado.

Los símbolos empleados para la representación de las unidades de entrada y de salida son líneas perpendiculares a la línea de información que llegue o salga del dispositivo y a su lado se escribe la información del elemento a emplear. Para unidades de salida es común anexar una corta leyenda que indique la acción que el elemento deberá realizar al recibir la señal de mando. En ocasiones estas unidades de entrada y de salida pueden ser representadas por un círculo dentro del cual se escribirá el símbolo de la representación del instrumento empleado y su número de identificación. Las Figuras 4.2 y 4.3 muestran la forma en que estos elementos deben ser representados.

Para algunos elementos en ocasiones se escribirá en la parte inferior de la información del mismo, la posición que tomará la unidad al dejar de recibir la energía que la opera. Para motores será siempre la posición de detenido, mientras que en el caso de válvulas existen las posibilidades siguientes:

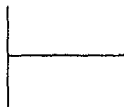
- | | |
|----|-------------------------------|
| FO | Abierta a falla de aire. |
| FC | Cerrada a falla de aire. |
| L | Asegurada en última posición. |
| X | Posición indefinida. |

FUNCION : ENTRADA

Definición: Una entrada a la secuencia logica.

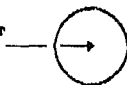
Símbolo:

Declaración de
entrada.



Alternativamente:

Instrumento inicializador
y/o número del elemento.



Ejemplo: La posición de encendido de un interruptor manual PB-1, es actuado para proporcionar una entrada para encender una bomba:

PB-1 Encender bomba
manualmente



Encender bomba
manualmente

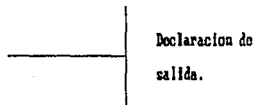


Fig. 4.2 Símbolo Unidad de entrada

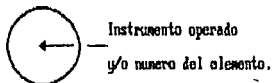
FUNCION : SALIDA

Definicion: Una salida de la secuencia logica.

Simbolo:



Alternativamente:



Ejemplo: Una salida de la secuencia logica manda a la valvula HV-2 abrir.

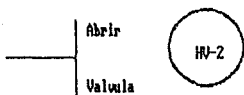
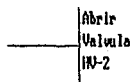


Fig. 4.3 Simbolo Unidad de salida

En la parte inferior de algunas unidades también es frecuente el indicar la forma en la que se encuentran alambrados los contactos de los dispositivos:

NC Contactos Normalmente Cerrados.
NO Contactos Normalmente Abiertos.

4.2.3 FUNCIONES LOGICAS.

Los módulos lógicos o compuertas, representan los componentes de una declaración lógica en la cual a partir de entradas externas (contactos, interruptores) actúan para dar una salida deseada; los componentes lógicos pueden ser arreglados en cualquier orden, siempre y cuando describan adecuadamente la secuencia de eventos requerida. Como se vió en los capítulos anteriores estos elementos son de naturaleza binaria (esto es, tienen dos estados; apagado o encendido o conduciendo o no conduciendo, etc.) y proporcionan (a través del Algebra Booleana) un estructurado y riguroso medio de representación de funciones de enlace.

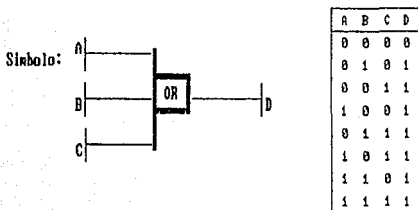
En el capítulo anterior en la sección de compuertas lógicas se dió una breve introducción de las tres compuertas básicas para la elaboración de los diagramas lógicos de control. Sin embargo, existen algunas otras que se verán a continuación. Con el fin de integrar uniformemente todas las compuertas lógicas en la simbología se presenta un breve repaso de las compuertas AND, OR y NOT.

Compuerta OR.

El primer módulo lógico básico es la compuerta OR, la cual puede tener dos o más entradas y sólo una salida. La salida tendrá un valor verdadero si una o más de las entradas tiene un valor verdadero y tendrá un valor falso sólo cuando ninguna de las entradas tiene un valor positivo. La Fig.4.4 ilustra el símbolo, la tabla de verdad y un ejemplo del uso de esta compuerta.

FUNCION : OR

Definicion: Una salida logica de la compuerta existe solo si una o mas de la entradas logicas A,B y C existe.



Ejemplo: Cerrar valvula de entrada de reactivo si la presion del agua de enfriamiento es baja o si la temperatura de salida del producto es alta.

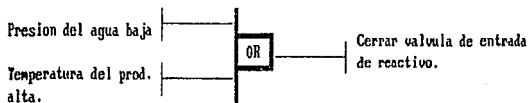


Fig. 4.4 Simbolo Compuerta Logica OR

Compuerta AND.

El segundo módulo lógico básico es la compuerta AND, la cual puede tener una o más entradas pero sólo una salida. Su salida como la tabla de verdad lo muestra es verdadera sólo para el caso en el que todas sus entradas son simultáneamente verdaderas. Por el contrario si cualquiera de las entradas tiene un valor falso la salida será también falsa. La Fig.4.5 ilustra el símbolo, la tabla de verdad, y un ejemplo.

Compuerta NOT.

El invertidor o compuerta NOT es un elemento que tiene sólo una entrada y una salida y el cual es usado para invertir el valor de la señal de entrada, esto es, la salida del invertidor es una señal que es el complemento de la señal de entrada. Este elemento se presenta en la Fig.4.6.

Como se mencionó anteriormente con estas compuertas básicas es posible, mediante algunas combinaciones de las mismas, obtener algunas otras como las que se describen a continuación:

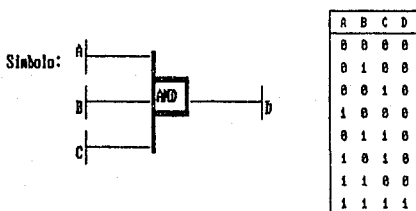
Compuerta NAND.

Una compuerta NAND es la equivalencia funcional de un compuerta AND seguida de una compuerta invertidora, es decir son dos compuertas diferentes que por su frecuente uso juntas son consideradas como una sola para fines prácticos.

Esta compuerta producirá una salida de cero lógico sólo en el caso en el que todas las entradas tengan un uno lógico. Así un valor de cero en cualquiera de las entradas obtendrá una salida uno. La figura 4.7 ilustra esta compuerta.

FUNCION : AND

Definicion: Una salida logica de la compuerta existe solo si todas las entradas logicas A,B y C existen.



Ejemplo: Operar bomba si el nivel del tanque de succion esta alto y si la valvula de descarga se encuentra abierta.

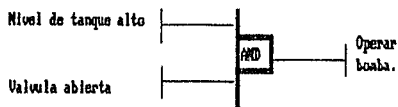
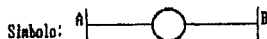


Fig. 4.5 Simbolo Compuerta Logica AND

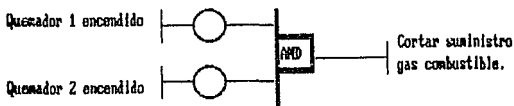
FUNCION : NOT

Definición: La salida logica B de la compuerta existe solo si la entrada logicas A no existe.



A	B
1	0
0	1

Ejemplo: Cancelar suministro de gas combustible si los quemadores No.1 y No.2 no están encendidos.



Algunas alternativas:

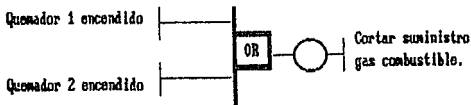
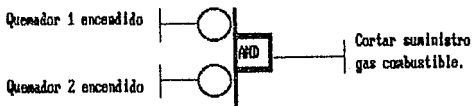


Fig. 4.6 Simbolo Compuerta Logica NOT

FUNCIÓN : NAND

(Not AND)

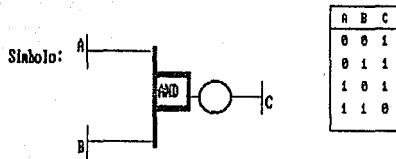


Fig. 4.7 Símbolo Puerta Lógica NAND

FUNCIÓN : NOR

(Not OR)

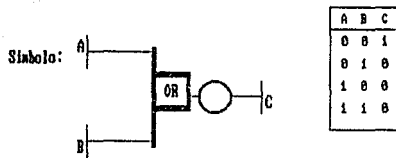


Fig. 4.8 Símbolo Puerta Lógica NOR

Compuerta NOR.

Una compuerta NOR entonces será la función equivalente a una compuerta OR seguida de un invertidor, las cuales también son de uso frecuente juntas y por lo tanto considerada como una sola.

Esta compuerta tendrá una salida lógica con valor uno sólo en el caso en el que todas las señales de entrada simultáneamente tienen un valor lógico de cero.

En la figura 4.8 se muestra la compuerta NOR junto con su tabla de verdad.

La figura 4.9 muestra algunas de las equivalencias lógicas entre algunas de las variaciones posibles de las combinaciones de las compuertas AND, OR y NOT junto con sus tablas de verdad.

Compuerta OR exclusiva.

La compuerta OR exclusiva también es otra compuerta de uso frecuente la cual produce una salida con un valor verdadero sólo cuando los estados de entrada no son idénticos, así la salida tendrá un valor falso si ambas entradas tienen el mismo valor simultáneamente. Esta compuerta produce un valor verdadero en la salida si sólo una de sus entradas es falsa y la(s) otra(s) no.

La figura 4.10a muestra como esta compuerta es simbolizada gráficamente. La segunda configuración Fig.4.10b de la compuerta OR exclusiva con una salida invertida produce el complemento conocido como COINCIDENCIA.

Compuerta OR condición especial.

En este tipo de compuerta, la salida lógica existe si y sólo si un número específico de entradas existen. Esto es, la compuerta se condiciona para trabajar sólo cuando esa condición propuesta por el diseñador sea cumplida.

En la figura 4.11 se ilustra la forma en que la compuerta debe ser especificada y también se presentan algunos ejemplos con el fin de ilustrar su funcionamiento.

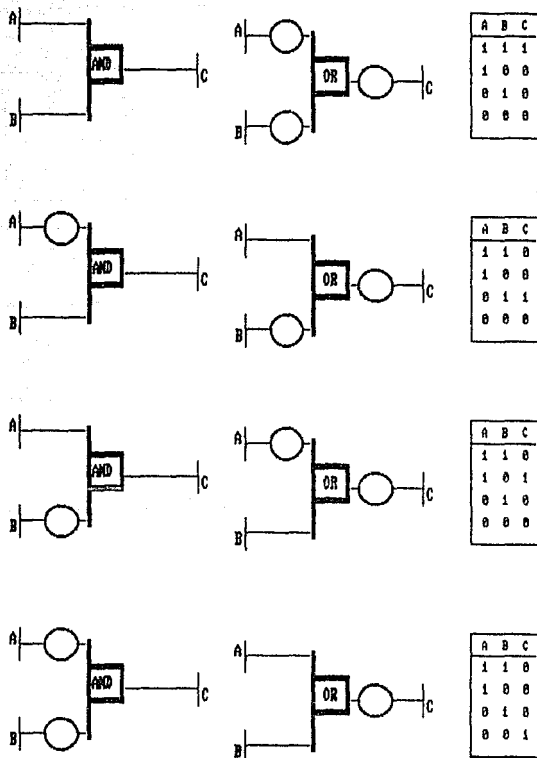


Fig. 4.9 Equivalencias entre compuertas logicas basicas

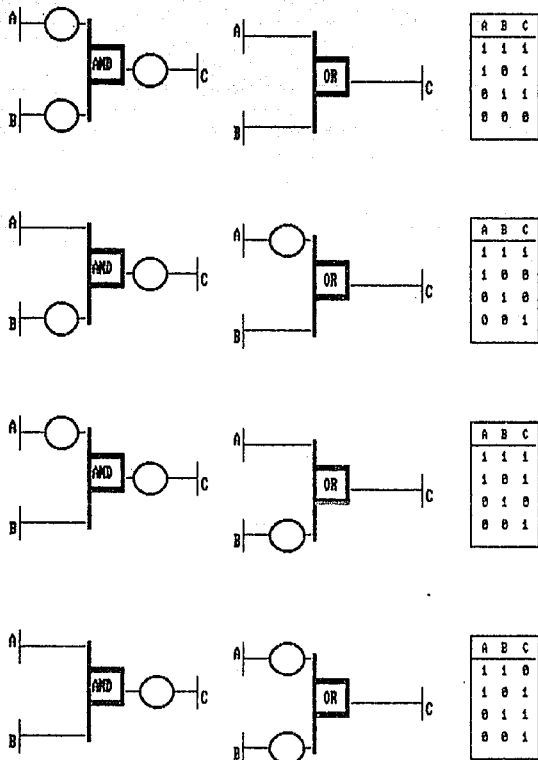


Fig. 4.9 Equivalencias entre compuertas lógicas básicas
(Continuación)

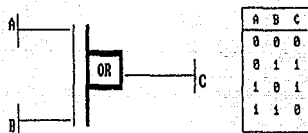


Fig. 4.18a Compuerta OR exclusiva.

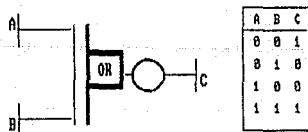
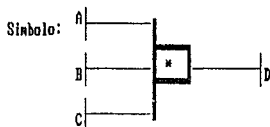


Fig. 4.18b Compuerta OR exclusiva invertida.
COINCIDENCIA.

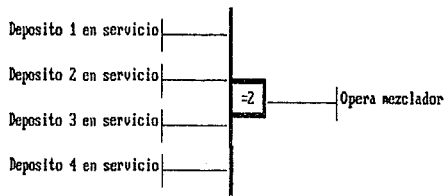
FUNCION : OR ESPECIAL



* Detalles internos representados por condiciones y cantidades numericas.

Ejemplo:

a) Opera mezclador si y solo si dos depositos estan en servicio.



b) Detener la reaccion si al menos dos elementos de seguridad llaman a un paro.

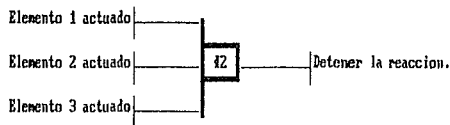


Fig. 4.11 Simbolo Computa Logica OR especial.

Símbolos matemáticos, como los siguientes, pueden ser utilizados para construir la condición a cumplirse para que la compuerta realice su función:

- a. = Igual a
- b. \neq No igual a
- c. < Menor que
- d. > Mayor que
- e. \nlessdot No menor que
- f. \ngtrdot No mayor que
- g. \leq Menor o igual que (equivalente a f)
- f. \geq Mayor o igual que (equivalente a e)

4.3 CIRCUITOS LOGICOS ESPECIALES.

Hay dos tipos básicos de circuitos conocidos como combinadores y secuenciales.

En un circuito combinador la salida está determinada solamente por la combinación de entradas que existen en ese momento, mientras que en un circuito secuencial la salida está determinada no solamente por las entradas actuales, sino también por la evolución de sus entradas anteriores, indicada por un elemento de almacenamiento de datos (memoria). Por consiguiente, en los circuitos secuenciales, la expresión de la salida no es una indicación de las funciones lógicas Booleanas presentes en las entradas actuales. Un sistema lógico completo puede tener al mismo tiempo circuitos combinatorios y circuitos secuenciales.

Se forma un sistema de conmutación secuencial cuando las señales que representan las combinaciones de las variables se retrasan o se almacenan en elemento de memoria antes de que influyan sobre la señal de salida final. Por lo tanto, las expresiones de las salidas no representan funciones Booleanas de las entradas actuales.

En los sistemas secuenciales las salidas dependen no sólo de las entradas actuales, sino también de las entradas de conmutación que se han producido con anterioridad.

En la figura 4.12 se presenta el esquema de un circuito lógico que utiliza elementos de memoria.

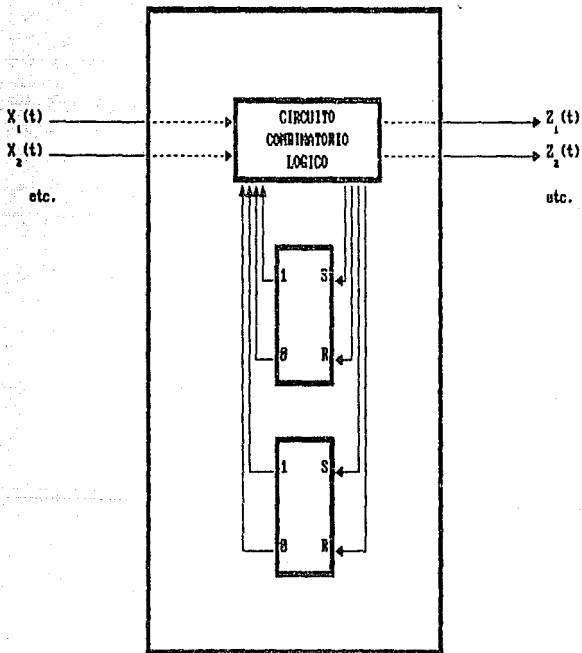


Fig. 4.12 Circuito logico utilizando elementos de memoria.

Este es un elemento utilizado en circuitos lógicos que no es en realidad una compuerta básica, sino que es un elemento de memoria que en conjunto con las compuertas descritas anteriormente se complementan para efectuar secuencias donde es conveniente guardar en memoria alguna condición realizada, más adelante se verá su símbolo.

Los elementos de memoria se conectan entre sí para formar circuitos de lógica secuencial para almacenamiento de datos, control de tiempo, conteo y secuenciación. Estos elementos 'recordarán' sus entradas aún después de que han sido quitadas estas, sin embargo, una compuerta lógica 'no recordará' su estado de salida, después de que se le han quitado las entradas.

Memoria.

Su símbolo básico está representado en la figura 4.13, en la cual también se presenta su definición y su tabla de verdad.

En el diagrama lógico de control a la función de memoria deberán llegar dos líneas de información; la de 'ajuste' que llega por el lado superior y la de 'reajuste' que llega por el lado inferior del símbolo.

Si la línea de reajuste lleva señal cero y la de ajuste señal uno la memoria estará en el estado uno; entonces la línea de salida colineal con la de ajuste llevará señal '1' y la línea de salida colineal con la de reajuste llevará señal '0'.

Si la línea de reajuste lleva la señal '1' y la de ajuste '0' la memoria estará en el estado '0', en cuyo caso la línea de salida colineal con la de ajuste llevará señal '0' y la línea colineal con la de reajuste llevará la señal '1'. Si ambas líneas de impulso de entrada a la memoria llevan señal '0' se mantiene el último estado que tenía la memoria después de la última señal diferente de '0'.

A una función de memoria normalmente no llegan dos señales '1' pues su salida podría estar indefinida. Para evitar este problema, se usa un círculo ya sea en el ajuste 'S' o en el reajuste 'R' para indicar que en el caso de que se presenten ambas, una de ellas (la encerrada en el círculo) tendrá prioridad sobre la otra.

FUNCION : MEMORIA

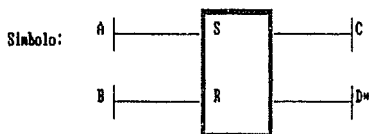
Definicion: S representa el ajuste de la memoria y

R representa el reajuste de la memoria.

La salida logica C existe tan pronto como la entrada logica A existe. C continua existiendo, sin importar el estado subsecuente de A, hasta que la memoria es reajustada, es decir, hasta que la entrada logica B existe.

C permanece sin señal sin importar el estado subsecuente de B, hasta que A provoque nuevamente la salida C mediante el ajuste de memoria.

La salida logica D, si es usada, existe cuando C no existe, y viceversa.



* La salida D no debiera mostrarse si no se usa.

Ejemplo: Opcion de una entrada supeditada: Si las entradas A y B existen simultaneamente, y si se desea tener a A supeditada a B, entonces S debiera ser encerrada en un circulo, S; si B es supeditada a A, entonces R debiera ser encerrada, R.

Si la presion del tanque llega a ser elevada, ventear el tanque y continuar ventearlo, sin importar la presion, hasta que el venteo sea detenido manualmente por un interruptor, HS-1, teniendo cuidado de que la presion ya no esta alta. Si el venteo es detenido, un compresor podria ser encendido.

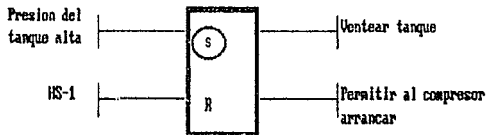
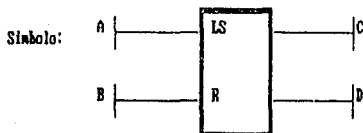


Figura 4-13 Símbolo de Memoria.

FUNCION : MEMORIA

Definicion: Similar a la definicion anterior, pero para el caso de perdida de suministro de energia.

La memoria debere ser perdida cuando el suministro de energia se pierda.



Ejemplo: Si la alimentacion comienza a fluir, el enfriador debere operar hasta que el tanque de alimentacion este vacio. En el caso de una perdida del suministro de energia, el enfriador no debere operar.

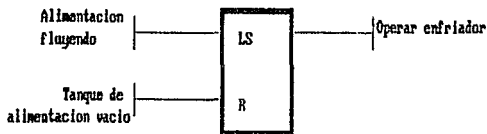


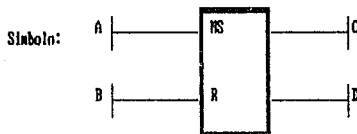
Figura 4-13 Símbolo de Memoria.

(continuacion)

FUNCION : MEMORIA

Definicion: Similar a la definicion anterior, pero para el caso de perdida de suministro de energia.

La memoria debere ser mantenida cuando el suministro de energia se pierda.



Ejemplo: Si la operacion de una bomba de relevo es iniciada, la bomba debera operar, aun en el caso de que el suministro de energia sea perdido, hasta que la secuencia del proceso sea terminada.

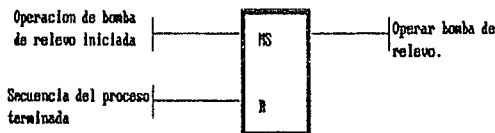


Figura 4-13 Simbolo de Memoria.

(continuacion)

Existen dos propiedades absolutamente necesarias que cualquier memoria debe tener:

- a) La localización donde cada dígito binario es almacenado debe tener una dirección única.
- b) Debe ser posible de leer el estado de cada dígito binario.

La función de memoria corresponde al arreglo de funciones mostradas en la figura 4.14 y el cual es conocido como LATCH en el se combinan algunas de la compuertas lógicas básicas analizadas anteriormente.

Existen otras formas de representar memorias dependiendo de la combinación de las compuertas básicas y de su retroalimentación. Un ejemplo se presenta en la figura 4-15. Sin embargo, este tipo de memorias no tienen la capacidad de trabajar en casos de falla en el suministro de energía.

Retraso de Tiempo.

Cuando un elemento de retraso de tiempo es necesitado, el símbolo que presenta la figura 4-16 es el que será utilizado. Algunas veces es necesario permitir un retraso de tiempo entre algunas acciones, en esta compuerta cuando en una entrada se tiene un valor de '1', se producirá un cambio en la salida a un valor de '1' después de que el tiempo especificado se haya cumplido. Cuando la entrada cambia su valor a '0', inmediatamente la salida cambiará su valor a '0'. Añadiendo compuertas invertidoras se pueden obtener funciones complementarias. En la figura 4-16 se presentan algunos ejemplos del uso de este tipo de elementos.

FUNCION : LATCH

Simbolo:

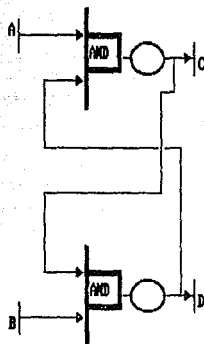


Fig. 4.14 Combinación de compuertas lógicas para función de memoria.

Ejemplo: Frecuentemente empleado en botones de paro y arranque de bombas. A boton de arranque alambrado normalmente abierto y B boton de paro alambrado normalmente cerrado, C es la bomba.

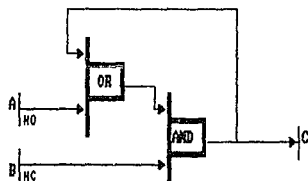
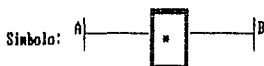


Fig. 4.15 Ejemplo alternativo de memoria usando compuertas lógicas.

FUNCION : RETRASO DE TIEMPO

Definición: La salida logica B de la compuerta existe con una relacion de tiempo a la entrada logica A de acuerdo a una especificacion.



* Detalles funcionales presentados a continuacion.

a) RETRASO DE LA INICIACION DE LA SALIDA

Definición: La existencia continua de una entrada A por un tiempo t provoca que la salida logica B exista hasta que el tiempo expira. B termina cuando A termina.



Ejemplo: Si la temperatura del reactor excede el limite superior continuamente por 18 segundos, abrir la valvula de la chaqueta de enfriamiento al punto de ajuste maximo.

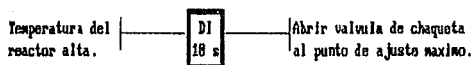
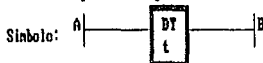


Fig. 4.16 Símbolo Compuerta de retraso de tiempo.

FUNCION : RETRASO DE TIEMPO

b) RETRASO DE LA TERMINACION DE LA SALIDA

Definición: La existencia de una entrada A provoca que la salida logica B exista inmediatamente. B termina cuando A ha terminado y no se ha presentado otra vez por un tiempo t.



Ejemplo: Si el sistema de presión cae abajo del límite inferior, operar el compresor en seguida. Detener el compresor cuando la presión este arriba del límite inferior continuamente por un minuto.



c) SALIDA DE PULSOS.

Definición: La existencia de una entrada logica A, sin importar su estado subsecuente, provoca una salida logica B inmediata. B existe por un tiempo t y entonces termina.



Ejemplo: Si la purga del recipiente falla, operar la bomba de evacuación por tres minutos y entonces detener la bomba.

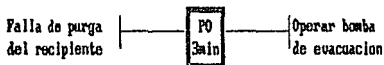


Fig. 4.16 Simbolo Compuerta de retraso de tiempo.
(continuación)

CAPITULO V

METODOLOGIA Y APLICACION

CAPITULO V METODOLOGIA Y APLICACION.

5.1 PREPARACION DEL DIAGRAMA LOGICO DE CONTROL.

Parece aconsejable sugerir el menor número de reglas a seguir en la elaboración de los diagramas lógicos de control. Sin embargo, es conveniente tomar algunos puntos en cuenta y es indispensable utilizar la simbología adecuada. Los diagramas lógicos de control como otros diagramas esquemáticos de flujo empleados en la ingeniería de proyectos, por naturaleza deben de ser individualísticos, ya que se utilizan para propósitos muy variados, la originalidad proporciona con frecuencia el énfasis necesario en cada sistema de control diseñado.

Como se ha comentado el uso de diagramas dentro de la ingeniería de proyectos es de vital importancia para transmitir la información necesaria a todos los grupos involucrados, por lo que la claridad nunca debe ser sacrificada, por esto se tomará en cuenta que ninguna información importante debe ser omitida y tampoco información inútil debe ser incluida.

Dado que varias personas de diferentes disciplinas se deben referir a los diagramas, la estandarización es esencial con el objeto de evitar confusiones innecesarias.

El arreglo general del diagrama se obtiene presentando todas las entradas al sistema ya sea en el lado izquierdo o en el lado superior del documento, con todos los enlaces lógicos mostrados en el centro y todas las salidas arregladas en la parte derecha o inferior. Las entradas serán todos los elementos con los cuales uno tenga contacto directo con el proceso a fin de obtener información, o bien elementos que sirvan para introducir información externa al circuito de control, los primeros tales como interruptores de nivel, presión, temperatura, etc., y los segundos tales como interruptores de encendido y apagado que afecten una secuencia dada como son los botones de control. La sección lógica del diagrama (el centro) representa, en forma simbólica, las decisiones y las funciones empleadas para que de un conjunto de entradas obtener un conjunto de salidas deseadas de acuerdo al análisis y las filosofías operacionales del sistema de

control; es por esto que esta será la parte medular del documento por lo que se debe disponer de un espacio suficiente para obtener un diagrama claro y completo. Finalmente en la parte donde las señales de salida actuarán sobre los elementos que modificarán las condiciones deseadas del proceso, tales como controles de paro y arranque de bombas o compresores, válvulas de control, alarmas tanto audibles como visibles; sección que no se debe olvidar planear con anticipación para que no sea insuficiente el espacio disponible en el momento de realizarla.

5.2 METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DE DIAGRAMAS LOGICOS DE CONTROL.

Con el fin de obtener un mejor entendimiento del sistema de control que se quiere realizar es importante, que las rutas técnicas y la información a transferir sean lo suficientemente claras, para esto es conveniente que al realizar un diagrama lógico de control se consideren los siguientes tres puntos auxiliares para el mejor desarrollo del diagrama lógico de control.

5.2.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA.

En esta primera parte de la elaboración del diagrama se define un enfoque básico y los pasos requeridos para llevar a cabo el control de una unidad del proceso. En este punto, con ayuda de los diagramas de tubería o instrumentación, se describe con palabras el sistema en la forma lo más detallada posible, así como las situaciones en las que se utilizarán las funciones lógicas.

Es de gran ayuda plantear un diagrama lógico básico auxiliar mostrando en forma de bloques la operación de la unidad de proceso a controlar así como la lógica de control a utilizar, incluyendo sus componentes que son críticos y condicionales para que el arranque del sistema y su operación subsiguiente. En ocasiones algunos subsistemas también presentarán sus propios enlaces lógicos, procedimientos de operación y secuencias. Cada bloque presenta una declaración cualitativa de las condiciones básicas requeridas en cada paso de la

operación de la unidad de control. EL diagrama lógico básico cubre todos los pasos generales requeridos para poner en funcionamiento una unidad, y muestra todos los requerimientos básicos para la misma. Las consideraciones de seguridad y del proceso pueden ser ampliamente revisadas a partir de este diagrama antes de hacer el desarrollo detallado de sus partes.

5.2.2 DESCRIPCION LOGICA.

Tomando en cuenta la descripción del sistema se deducen y se agrupan los dispositivos de entrada y de salida, de acuerdo a las características de estos dispositivos, haciendose las diferentes combinaciones de los estados de los dispositivos de entrada y la consecuencia de esta combinación en los dispositivos de salida. Al referirse a las características del dispositivo y a las condiciones de operación que van a tener estos, es decir, si van a ser alambrados a normalmente abiertos o cerrados, en el caso de dispositivos de entrada, normalmente energizados o desenergizados, en el caso de dispositivos de salida, así como la duración de estos estados, si es instantáneo o sostenido por un tiempo ya sea definido o indefinido. Todas estas características que deberán ser especificadas claramente en el momento de elaborar el diagrama lógico de control.

En esta segunda parte es posible auxiliarse de un diagrama de flujo lógico, en él se describe una parte finita de la operación y contiene todos los pasos y acciones automáticas y manuales requeridos para arrancar, correr, y detener esa parte del sistema.

Este diagrama lógico secuencial (DLS) es desarrollado incluyendo la filosofía de control del sistema. Muestra todas las condiciones, pasos y parámetros para las acciones de control a tomar sobre el sistema. Deberá ser lo suficientemente detallado en cuanto a la instrumentación involucrada y poder transferirse fácilmente a lo que será el diagrama lógico de control.

El DLS muestra las condiciones de las alarmas, también las acciones manuales y automáticas, retrasos de tiempo y memorias y las condiciones de reajuste. En su forma final, este diagrama será el primer documento de seguridad para esa parte de la operación de la

planta, y puede ser usado directamente como parte de las instrucciones de operación.

Cada DLS es una serie de declaraciones, decisiones y condiciones mandatorias que permiten a una unidad de operación continuar al siguiente paso permisible o provenir este progreso, o provocar una serie de eventos preestablecidos y de seguridad. Los símbolos a usar en en DLS son: 1) bloques rectangulares que contienen leyendas apropiadas para una acción (automática o manual), 2) bloques romboidales que contienen declaraciones de las condiciones que limitan el proceso, y 3) círculos que interconectan a los DLS's cuando están en continuidad en diferentes páginas.

Cuando los parámetros del proceso están dentro de los límites ajustados y cuando el operador ha ejecutado las acciones manuales correctamente (SI), el sistema troncal puede continuar a la siguiente acción o condición. Este procedimiento continua en una dirección descendente hasta que algún dispositivo ó una acción de reajuste en el proceso produzca una modificación que a su vez provoque acciones de control. Si las condiciones no son permisivas (NO), entonces las acciones de seguridad (a la derecha de este evento fuera de lo normal) deben ser ejecutadas automáticamente. Estas acciones pueden requerir de un reajuste o de un paro de subsistemas interconectados, así como el paro del sistema mostrado dentro de los límites del diagrama. Acciones o condiciones alternativas son mostradas a la izquierda del tronco del diagrama.

Todas las acciones y condiciones deben ser mostradas en un orden secuencial apropiado. El diagrama debe dar una imagen coherente de todos los pasos condicionales, incondicionales y secuenciales a ser tomados dentro de los procedimientos iniciales y subsiguientes. Notas escritas deben ser tan cortas como sea posible.

5.2.3 DIAGRAMA LOGICO.

Después de haberse realizado el análisis de la relación existente entre los elementos de entrada y los elementos de salida del sistema de control así como las combinaciones y enlaces que tendrán entonces

se procederá a seleccionar las compuertas lógicas necesarias para la estructuración del diagrama.

El diagrama lógico de control es la reproducción gráfica desarrollada por el grupo de instrumentación. Contiene las acciones automáticas, pero no incluye acciones manuales, excepto por botones y otras entradas de acciones del operador. Los principales propósitos de los diagramas lógicos de control, son presentar los elementos, las conexiones involucradas y la lógica de estas, entre los dispositivos de control de entrada y de salida. La simbología y las recomendaciones a seguir en la elaboración de los mismos ya han sido presentadas en este capítulo y en el anterior.

Antes de que un sistema este finalizado, es necesario revisar todas las secuencias lógicas desde dos puntos de vista:

- 1). Producción, el cual está inclinado a impulsar los límites de una operación segura. Este punto de vista tiende a ser incrementado en una dirección positiva, siempre buscando condiciones que permitan arranques y operación continua mediante sistemas de respaldo.
- 2). Ingeniería de seguridad, la cual debe fijarse en un concepto lógico en una dirección negativamente múltiple, es decir, llevando al sistema a condiciones de paro, ajustando los dispositivos involucrados en sus posiciones de seguridad.

De aquí, que puede haber un conflicto de funcionamiento y definición del propósito de un sistema. Entonces, es necesario mantener un consistente marco de referencia en la examinación de los eventos. Uno debe mantener una progresión lógica de los eventos cuando resultan condiciones que son seguras en cualquier forma, pero debe asegurarse de que en caso de riesgo es mejor detener esta progresión lógica. Es necesario que el diseño final del diagrama lógico de control sea totalmente consistente y complementario desde ambos puntos de vista, producción y seguridad en sus estipulaciones para una planta segura en paros, arranques, en operación y sin operación.

5.3 APLICACIONES.

Esta sección presenta aplicaciones de los diagramas lógicos de control en algunos sistemas típicos de control comunes.

5.3.1 SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE A QUEMADORES Y PILOTOS DE HORNO.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.

Se requiere que cuando se detecte una baja presión del gas combustible a quemadores, ya sea que esta sea menor o igual a la presión de disparo del interruptor por baja presión PSL, éste abra contactos (para lo cual fué alambrado con contactos normalmente abiertos) desenergizando la válvula solenoide UY2 (que está normalmente energizada y cerrada, siendo además de reposición manual) la cual en forma automática mandará aire a vouteo, despresurizando el actuador de la válvula UV2, la cual correrá cortando el paso del gas combustible a quemadores del horno.

Por otra parte se tiene un control alternativo en el sistema, un corte por alta temperatura del fluido de proceso a la salida del horno. Si se detecta un aumento de temperatura superior o igual al marcado por el interruptor de alta temperatura TSH, éste abre contactos (para lo cual fué alambrado con contactos normalmente cerrados) desenergizando a la misma válvula solenoide UY2, y como ya se explicó anteriormente, esto provoca que la válvula UV2 cierre o impida el paso del gas combustible a quemadores.

Como se puede apreciar existen dos formas automáticas de cerrar la válvula UV2 en este sistema de control, ya sea por baja presión del gas combustible a quemadores o por alta temperatura del fluido de proceso a la salida del horno. También se incluye la posibilidad de cerrar la válvula UV2 en forma manual. Cuando el operador, mediante el interruptor manual HS (de contacto sostenido), desenergice la válvula solenoide UY2 y provoque el cierre de la válvula UV2.

En cualquiera de los tres casos anteriores, para que la válvula UV2 se restablezca por condición de operación se requiere que el operador restablezca manualmente la válvula solenoide UY2.

En la figura 5.1 se presenta el diagrama de tubería e instrumentación del sistema de quemadores y piloto del horno en cuestión, en este se presentan las líneas y los instrumentos de control involucrados en el proceso. Alternativamente se presenta un diagrama de instrumentación del mismo sistema en la figura 5.2. Este es otro documento de ingeniería de detalle en la ingeniería de proyectos editado en la sección de instrumentación. En él se muestra la localización física de los componentes involucrados en el circuito de control. El objeto de mostrar el diagrama de instrumentación es, por un lado que el lector se da una idea de la localización física de los componentes y por otro lado quede bien aclarado que el diagrama lógico de control no muestra la localización física de los componentes.

Como se ve en el diagrama de tubería e instrumentación aparecen otros elementos de control, controladores uno de temperatura y otro de presión así como alarmas de temperatura baja y alta. Estos elementos sí se representan en los diagramas de instrumentación, sin embargo, son parte de otro circuito de control al representado en la figura 5.2 es por esto que no aparecen.

Los instrumentos controladores no aparecen en los diagramas lógicos de control debido a que no son elementos de naturaleza binaria, es decir, que no se encuentran en los dos estados energizado o desenergizado o uno y cero. Este tipo de elementos mandan señal continuamente y varían en algunos casos la intensidad de la misma.

Los diagramas lógicos de control sólo representarán entonces, como se ha dicho, elementos de naturaleza binaria como son los interruptores y los botones de paro y arranque.

En el sistema también se ve que si por algún motivo la presión continua descendiendo, es conveniente cerrar la válvula de gas combustible a pilotos. Si se detecta una presión menor o igual a la del punto de ajuste del interruptor de muy baja presión PSLI, éste abrirá contactos desenergizando la válvula solenoide PYI y a su vez cerrando la válvula PVI, con lo cual se impide el paso del gas combustible a los pilotos del horno. Para que la válvula PVI abra nuevamente se requiere que el operador restablezca manualmente la válvula PYI.

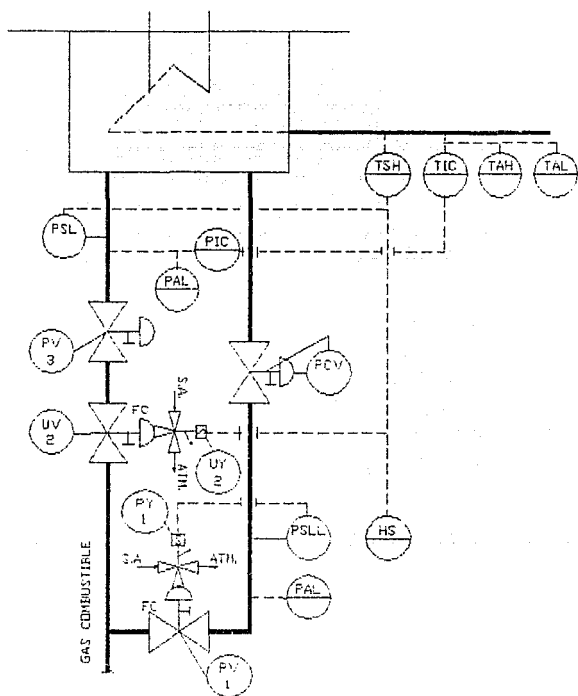


FIGURA 5-1
 DIAG. DE TUBERIA E INST.
 GAS COMBUSTIBLE A QUEMADORES
 Y PILOTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

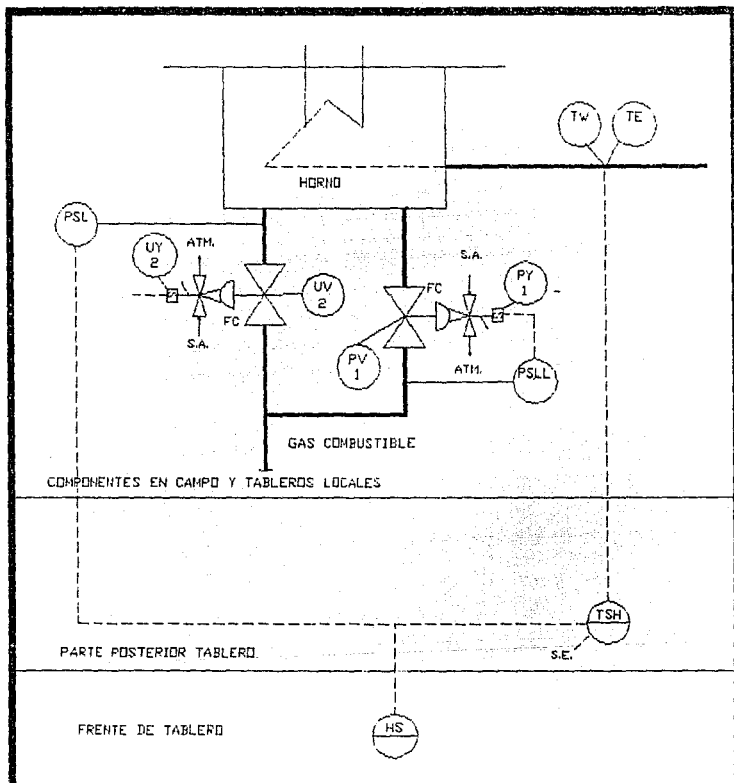


FIGURA 5-2
 DIAGRAMA DE INSTRUMENTACION
 GAS COMBUSTIBLE A QUEMADORES
 Y PILOTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

DESCRIPCION LOGICA.

De acuerdo a lo explicado en la descripción del sistema, se sabe que al abrir contactos los interruptores TSH y/o PSL y/o HS la válvula UY2 es cerrada automáticamente.

Por lo tanto se tomará a TSH, PSL y HS como entradas a un circuito lógico y cuya salida energizará o desenergizará la válvula solenoide UY2. Esto se puede ver en una forma más clara en la tabla de verdad 5.1.

De la tabla de verdad 5.1 se puede deducir que para el circuito lógico en cuestión se necesita de una compuerta lógica AND, ya que sólo cuando TSH, PSL y HS tienen sus contactos cerrados simultáneamente (están en uno) UY2 se encuentra energizada (también está en uno). Ya que el circuito lógico es una compuerta básica no se necesitan otras combinaciones y por lo tanto ni de técnicas de simplificación.

Respecto a PY1 dependerá del interruptor PSL el que se encuentre energizada o no. De acuerdo a la tabla de verdad 5.2 se observa que la conexión entre PSL y PY1 es directa.

NOTA: Debido a que las válvulas solenoide son de reposición manual, esta situación será representada con un dispositivo de memoria con un reajuste de tipo manual.

En esta representación será necesario utilizar una negación precedente a la memoria, debido a que la salida de la memoria existe tan pronto como existe la entrada de ajuste. Cuando el interruptor deja de mandar su señal físicamente desenergizará a la válvula solenoide, pero en esta representación lógica deberá energizarse el punto de ajuste de la memoria para que mande la salida requerida.

TSH	PSL	HS	UY2
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Tabla de verdad 5.1

PSLL	PYI
0	0
1	1

Tabla de verdad 5.2

Finalmente en la figura 5.3 se presenta el diagrama lógico de control para el sistema analizado en el presente ejemplo.

5.3.2 SISTEMA DE PARO DE TURBINA POR ALTO NIVEL DEL TANQUE Y/O ALTA TEMPERATURA EN DESCARGA DEL COMPRESOR.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.

En todos los procesos donde se manejen compresores es importante asegurar que sólo se maneje gas, para lo cual hay que asegurar que los tanques de succión no tengan un alto nivel de fluido líquido.

El sistema entonces comenzará a ser controlado cuando el tanque de succión tenga un nivel de líquido superior o igual al del punto de ajuste del interruptor de alto nivel LSH, entonces éste abrirá sus contactos (los cuales están alambrados a normalmente cerrados), desenergizando la válvula solenoide UY lo que a su vez ocasiona que en forma automática mande aire a venteo, despresurizando el actuador de la válvula UV la cual cierra a falla de aire, cortando el paso de vapor a la turbina del compresor, deteniendo por lo tanto a este último.

El control de la temperatura del fluido a la descarga del compresor también es importante. Si se detecta una temperatura superior o igual a la marcada en el punto de ajuste del interruptor de alta temperatura TSH, ubicado en la descarga del compresor, éste abrirá sus contactos (para lo cual también sus contactos fueron alambrados a normalmente cerrados) desenergizando la misma válvula solenoide UY cerrando la válvula UV e impidiendo finalmente el paso de vapor a la turbina, volviendo a provocar el paro del compresor.

Finalmente se presenta un interruptor manual con el cual se controlará el sistema en forma externa.

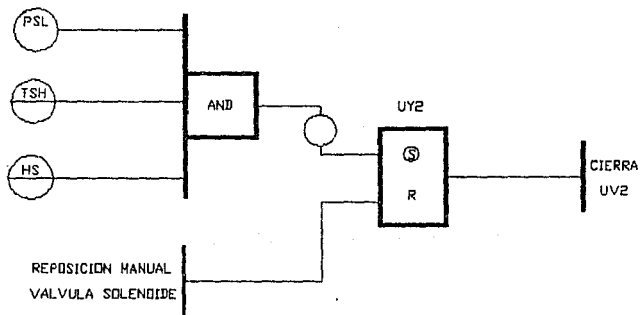
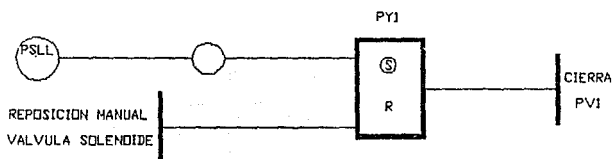


FIGURA 5-3
DIAGRAMA LOGICO
DE CONTROL

GAS COMBUSTIBLE A QUEMADORES
Y PILOTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

En ambos casos la válvula solenoide cierra en forma automática, para que esta vuelva a abrir se requiere que el operador restablezca manualmente la condición de operación.

DESCRIPCION LOGICA.

Dependiendo de lo que los interruptores LSH o TSH o HS detecten sus contactos estarán abiertos o cerrados y estos serán los que controlarán la válvula solenoide, por lo tanto estos elementos son las entradas al sistema de control.

Para ver como actúan estos interruptores en forma lógica sobre la válvula solenoide, se presenta su tabla de verdad en forma conjunta.(Tabla 5.3).

LSH	TSH	HS	UY
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Tabla de verdad 5.3

De la tabla de verdad se puede ver que el sistema se encuentra compuesto sólo por una compuerta lógica AND ya que la válvula solenoide sólo será energizada cuando todos los interruptores estén energizados, es decir, con sus contactos cerrados.

En la figura 5-4 se presenta el diagrama de tubería de instrumentación del sistema, a partir del cual se hizo el análisis de control, y en la figura 5-5 se presenta su diagrama lógico de control.

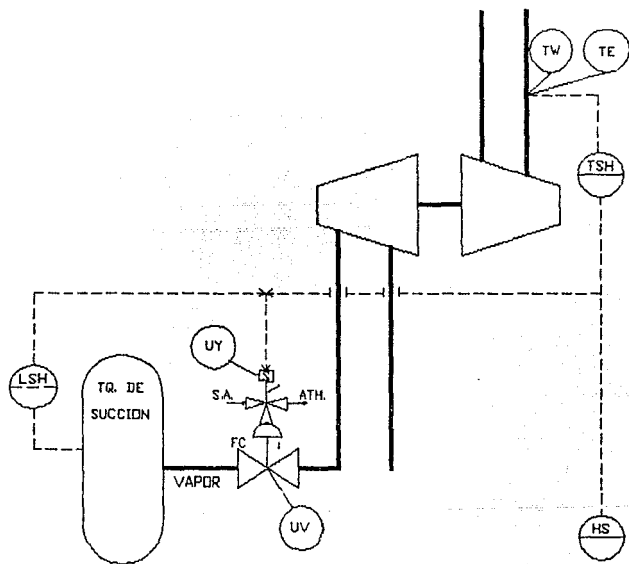


FIGURA 5-4
DIAG. DE TUBERIA E INST.

VAPOR A TURBINA
PARA COMPRESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

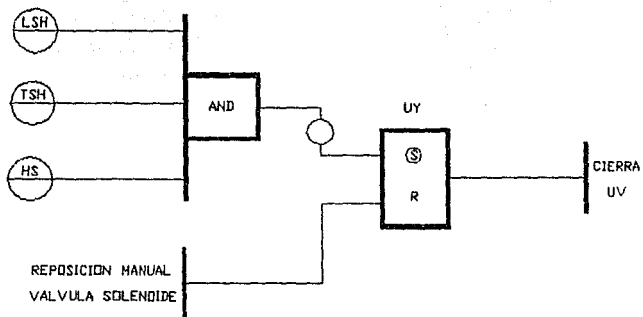


FIGURA 5-5
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 VAPOR A TURBINA
 PARA COMPRESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

5.3.3 SISTEMA GAS COMBUSTIBLE O COMBUSTOLEO A QUEMADORES DE HORNO.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.

Los quemadores del horno mostrados en el diagrama de tubería e instrumentación de la figura 5.6, serán alimentados con gas combustible o combustóleo. El controlador registrador de temperatura TRC toma el promedio de temperaturas del fluido de las 'n' salidas del horno y manda una señal de ajuste (set-point) al controlador indicador de presión PIC del combustóleo o al PIC del gas combustible, dependiendo de cual esté alimentando a los quemadores del horno en ese momento. Sin embargo, como se había mencionado anteriormente este tipo de elementos de control no se incluyen en los diagramas lógicos de control debido a su naturaleza no binaria. Aunque son parte del circuito de control, los interruptores forman una parte independiente dentro del mismo.

Cuando se detecta una baja de presión, ya sea en gas combustible o combustóleo, y siendo esta menor o igual a la del punto de ajuste del interruptor de baja presión PSL-A o PSL-B, éste (de acuerdo al fluido que se está trabajando) abre sus contactos (para lo cual sus contactos fueron alambrados a normalmente abiertos), desenergizando la válvula solenoide UY-1 o UY-3, al desenergizar la solenoide el aire se ventea, despresurizando el actuador de la válvula UV-1 o UV-3 (las cuales cierran e falla de aire FC), cortando el paso del gas combustible o del combustóleo según sea el caso.

La anterior es una forma automática de cerrar las válvulas UV1 o UV3. Sin embargo, existe una forma alternativa de cerrarlas, mediante el interruptor manual HS para desenergizar la válvula solenoide UY1 o UY3, provocando el cierre de la válvula de UV1 o UV3.

Si por alguna causa la presión continúa descendiendo hasta un presión menor o igual a la del punto de ajuste del interruptor de muy baja presión PSL, éste abre sus contactos para desenergizar la válvula solenoide PY2 lo que permite el cierre de la válvula PV2, impidiendo el paso de gas combustible a pilotos.

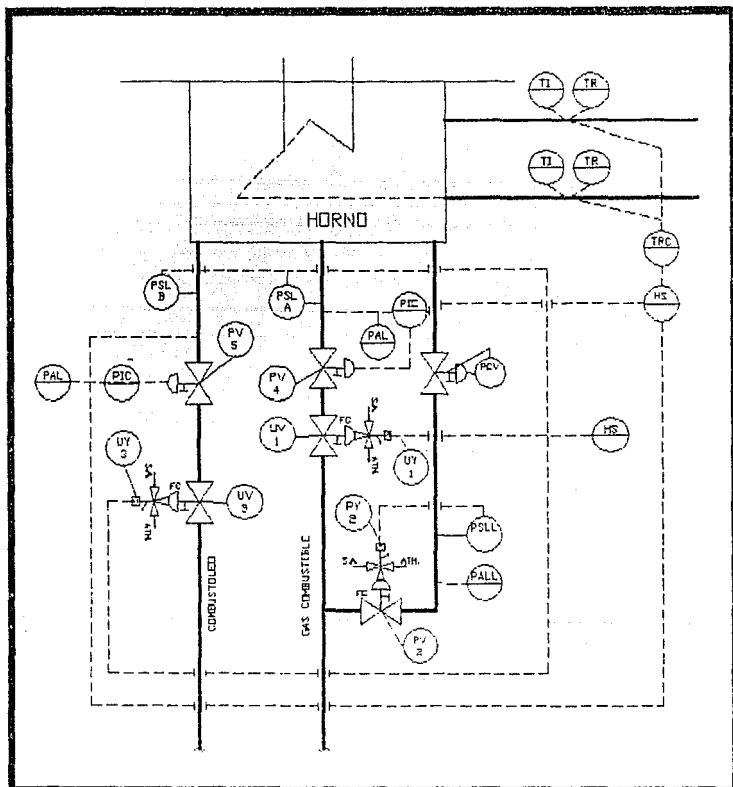


FIGURA 5-6

DIAG. DE TUBERIA E INST.

GAS COMBUSTIBLE COMBUSTOLEO

A QUEMADORES Y PILOTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

Para los casos anteriores, como las válvulas solenoides son de reposición manual se requiere que el operador las restablezca manualmente, cuando se hayan recuperado las condiciones de operación.

DESCRIPCION LOGICA.

Se desea que cuando los interruptores PSL-A o PSL-B detecten baja presión abran sus contactos y desenergicen UY1 o UY3, respectivamente. También se requiere que mediante el interruptor manual HS se desenergicen UY1 o UY3. Las tablas de verdad 5.4 y 5.5 muestran lo descrito anteriormente.

Por otra parte cuando PSLB detecta una presión muy baja, abre sus contactos, desenergizando la válvula solenoide PY2. La tabla de verdad 5.6 también muestra lo descrito anteriormente.

De la tablas de verdad 5.4 y 5.5 se observa que el circuito lógico es una compuerta AND, ya que UY1 o UY3 sólo estará energizada si PSL-A o PSL-B y HS tienen sus contactos cerrados.

De la tabla de verdad 5.6 se observa que PSLB y PY2 van conectados directamente.

PSL-A HS UY1		
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla de verdad 5.4

PSL-B HS UY3		
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla de verdad 5.5

PSLB PY2	
0	0
1	1

Tabla de verdad 5.6

Finalmente en la figura 5.7 se presenta el diagrama lógico de control para el sistema descrito.

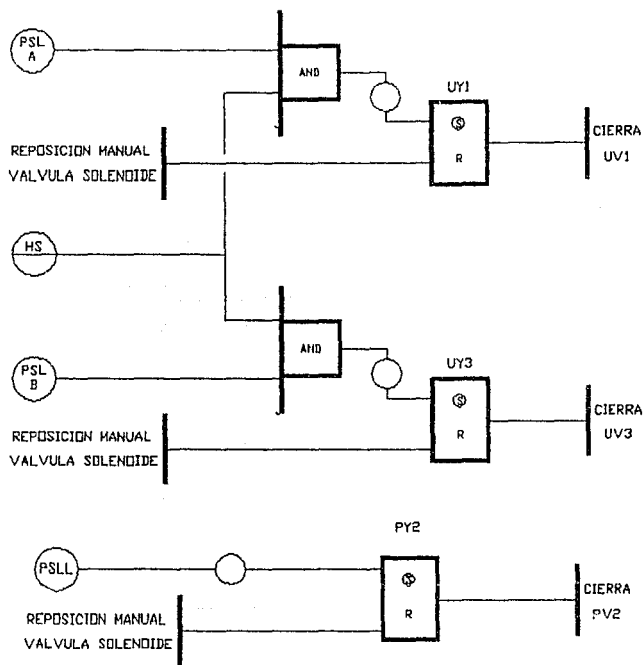


FIGURA 5-7

DIAGRAMA LOGICO
DE CONTROL

GAS COMBUSTIBLE O COMBUSTIBLE
A QUEMADORES Y PILOTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

5.3.4 PARO DE BOMBA DE MOTOR Y ARRANQUE DE BOMBA CON TURBINA POR BAJA PRESION.

Para el siguiente sistema se estudiarán dos casos, en ellos se presenta el manejo de dos servicios diferentes previniendo que se presente un disturbio en el suministro de alguno de ellos. Para la selección de alguno de estos dos casos se debe tomar en cuenta la disposición de los servicios la operación normal de la planta.

a) DESCRIPCION DEL SISTEMA.

En los procesos donde se manejan fluidos viscosos es necesario manejar aceite de sello a instrumentos, cuyas entradas estén en contacto con el fluido. Debido a que la presión del aceite es muy importante en este servicio, el control se efectuará como se describe a continuación.

Normalmente estará funcionando la bomba GA-1 accionada por motor eléctrico, si por alguna causa llegará a fallar el motor o se presentase algún otro imprevisto, la presión del aceite disminuye hasta un punto (el de ajuste) en el que el interruptor de bajo nivel PSL lo detecta y manda una señal al abrir sus contactos para que así se desenergice el motor que se encuentra accionando la bomba en ese momento, además de la válvula solenoide. Al desenergizar a la válvula solenoide PY el aire se ventea despresurizando el actuador de la válvula PV (la cual en este caso estará abierta a falla de aire, FO), permitiendo el paso del vapor a la turbina haciendo funcionar así a la bomba de relevo GA-1R, lo que permite que la presión de aceite de sello se restablezca. Cuando la falla eléctrica ya sea en el suministro del servicio o por algún problema del motor de la bomba GA-1 se haya solucionado, el arranque del motor se hará en forma manual.

Para que PV cierre, el operador deberá restablecer manualmente la válvula solenoide, con lo cual dejará de funcionar la bomba de relevo GA-1R.

La figura 5-8 muestra el diagrama de tubería e instrumentación del sistema descrito anteriormente.

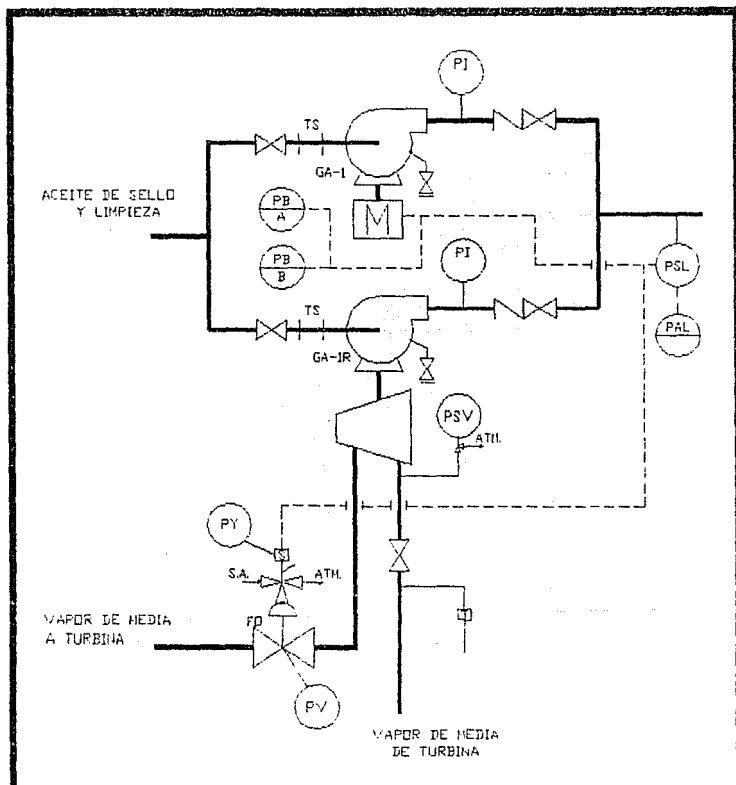


FIGURA 5-8
 DIAG. DE TUBERIA E INST.
 BOMBAS DE MOTOR Y DE
 TURBINA DE VAPOR
 PARA ACEITE DE SELLO
 Y LIMPIEZA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

DESCRIPCION LOGICA.

De acuerdo a lo explicado anteriormente se sabe que si se presenta alguna falla, esta será detectada por el interruptor PSL el cual dejará de mandar señal a la solenoide para abrirse y parar el motor de la bomba GA-1. Conforme esto se ve que el interruptor de baja presión será una entrada al sistema.

La válvula solenoide es de reposición manual así que no se verá afectada al ser energizada nuevamente por lo que esta es otra entrada al sistema. Lo mismo pasa con el motor ya que sólo arrancará manualmente siendo otra entrada al sistema.

En la tabla de verdad 5.7 mostrada a continuación se presenta lo descrito anteriormente.

PSL	M	PY
0	0	0
1	1	1

Tabla de verdad 5.7

De la tabla de verdad se observa que el interruptor PSL tiene una relación directa tanto con el motor como con la válvula solenoide.

b) DESCRIPCION DEL SISTEMA.

El sistema tiene el mismo objetivo que el descrito en el inciso a), únicamente que ahora la bomba que funciona normalmente será la accionada por turbina. Así si por alguna causa llega a fallar, la presión del aceite disminuye, esto es detectado por PSL el cual mandará una señal para que el motor de la bomba de relevo sea energizado y la válvula solenoide sea desenergizada mandando aire a venteo para despresurizar el actuador de la válvula que en este caso cerrará a falla de aire.

Al desenergizar la válvula solenoide PY se despresuriza el actuador de la válvula PV, impidiendo el paso de vapor a la turbina, por lo que deja de funcionar la bomba. Al energizar el motor la bomba de relevo funcionará recuperándose así la presión del aceite de sello.

Cuando la falla de la bomba con turbina se ha solucionado, el operador debe restablecer en forma manual la válvula solenoide, con lo cual la bomba volverá a funcionar.

Para que la bomba de relevo operada por el motor eléctrico deje de funcionar, el motor se debe apagar manualmente.

El diagrama de tubería e instrumentación de este sistema alternativo al del inciso a) es similar al de la figura 5-8 sólo que en este caso las bombas de operación normal y la de relevo están invertidas y la válvula PV cierra a falla de aire en lugar de abrir.

DESCRIPCION LOGICA.

De acuerdo a lo explicado anteriormente se sabe que si se presenta alguna falla, esta será detectada por el interruptor PSL el cual dejará de mandar señal a la solenoide para abrirse y para arrancar al motor de la bomba de relevo. Conforme a esto se ve que el interruptor de baja presión será una entrada al sistema.

La válvula solenoide es de reposición manual así que no se verá afectada al ser energizada nuevamente por lo que esta es otra entrada al sistema. Lo mismo pasa con el motor ya que sólo parará manualmente provocando otra entrada al sistema.

En la tabla de verdad 5-8 mostrada a continuación se ve la relación entre el interruptor de baja presión, la válvula solenoide y el motor.

PSL	M	PV
0	1	0
1	0	1

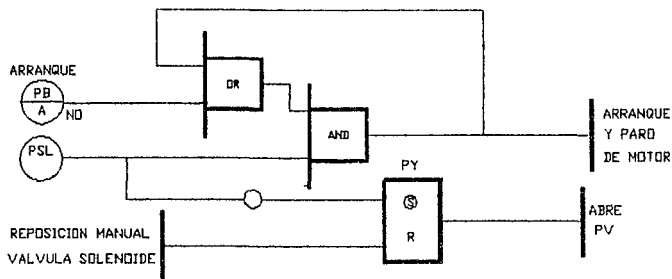
Tabla de verdad 5.8

En la tabla de verdad se observa que el interruptor de baja presión y la válvula solenoide tienen una relación directa, mientras que en este caso el motor tiene una relación invertida.

Finalmente en la figura 5-9 se presenta el diagrama lógico de control de los dos sistemas descritos anteriormente.

Es importante hacer notar que en el caso a), el motor se para en forma automática y se arranca manualmente, mientras que para el caso b) el motor arranca automáticamente y para en forma manual.

α) PARO DE MOTOR Y ARRANQUE DE TURBINA AUTOMATICO



β) PARO DE TURBINA Y ARRANQUE DE MOTOR AUTOMATICO

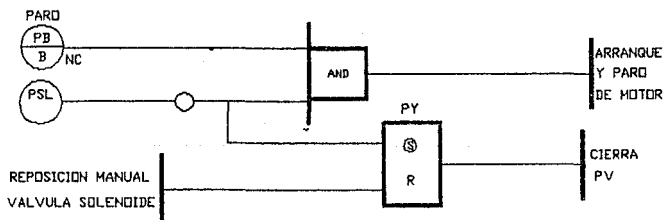


FIGURA 5-9
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 BOMBEO DE ACEITE DE
 SELLO Y LIMPIEZA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

5.3.5 PARO Y ARRANQUE DE BOMBA CONTROLADA POR INTERRUPTORES DE NIVEL.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.

Cuando se manejan bombas de descarga en tanques de almacenamiento es importante siempre asegurar un nivel de líquido del tanque de succión con el fin de evitar que la bomba opere sin líquido.

Para asegurar esto, se utiliza un interruptor de bajo nivel LSL el cual detectará cuando el nivel de líquido del tanque se encuentre abajo o en el punto de ajuste del instrumento, en ese momento se desenergizará provocando que el motor se pare.

La bomba será puesta en marcha nuevamente en forma automática cuando el interruptor de alto nivel LSH detecte que el nivel de líquido en el tanque ha alcanzado el punto de disparo del instrumento, entonces se mandará la señal de arranque del motor para que la bomba opere nuevamente.

La bomba puede también ser puesta en operación en forma manual, mediante los botones de arranque y paro PB-1 y PB-2 siempre y cuando el nivel de líquido este por encima del punto de ajuste del interruptor de bajo nivel, ya que si el nivel se encuentra abajo el interruptor tendrá sus contactos abiertos y la bomba no podrá operar.

El sistema cuenta con una bomba de operación normal y otra de relevo las cuales serán seleccionadas en forma manual mediante un selector de tres vías HS que tiene las siguientes posiciones:

1. Fuera de servicio. En esta posición ninguna de las bombas estará en servicio.
2. Bomba de operación normal. En esta posición la bomba de operación normal estará en contacto y será operada tanto en forma automática como manual.
3. Bomba de relevo. En este caso la bomba de relevo será la que se encuentre en contacto y la de operación normal quedará fuera de servicio.

En la figura 5-10 se presenta el diagrama de tubería o instrumentación para este sistema, de acuerdo a lo descrito anteriormente.

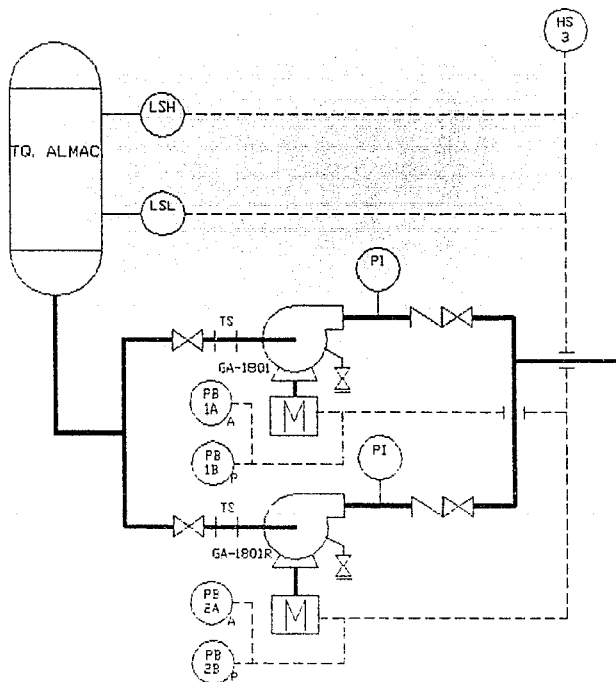


FIGURA 5-10

DIAG. DE TUBERÍA E INST.
BOMBAS DE DESAGUE DE
TANQUE DE ALMACENAMIENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

DESCRIPCION LOGICA.

En este sistema se tienen como entradas al circuito de control los interruptores de nivel del tanque y los botones de paro y arranque de las bombas así como el interruptor de selección entre la bomba de operación normal y la de relevo. Para que alguna de la bombas pueda funcionar tanto el interruptor de alto nivel LSH como los botones de arranque PB-1A y PB-2A según sea el caso, podrán ponerlas en marcha. De acuerdo a esto se sabe que se necesita una compuerta lógica OR, ya que uno de los dos elementos necesita estar en contacto para hacer la solicitud de arranque. En compuerta será necesario incluir también una retroalimentación que mantendrá una señal de operación 1.

Por otro lado se necesita una señal de paro, esta puede ser del interruptor manual PB-1B o PB-2B de paro según sea el caso y del interruptor de bajo nivel LSL. De acuerdo a lo anterior se necesita una compuerta AND.

Es importante hacer notar que la señal del interruptor de alto nivel necesita ser invertida debido a que al alcanzar su punto de ajuste este abrirá sus contactos dejando de mandar señal y se requiere de una señal de arranque de este instrumento.

Finalmente la figura 5-11 presenta el diagrama lógico para el sistema descrito anteriormente.

5.3.6 SISTEMA DE CENTRIFUGADO DE DIESEL.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.

En este sistema de una plataforma de producción de un complejo de explotación marítima, es necesario hacer una limpieza al diesel que se usará como servicio de combustible. Para hacer esto se realiza entonces una centrifugación, la cual será controlada por los interruptores de nivel del tanque de almacenamiento de diesel.

El tanque de almacenamiento será alimentado con diesel limpio procedente de las centrifugadoras; tanto la operación de las centrifugadoras como la de las bombas de distribución serán controladas por los interruptores de nivel del tanque.

Cuando el interruptor de alto nivel LSH detecte un nivel mayor o igual al del punto de disparo del instrumento este abrirá sus

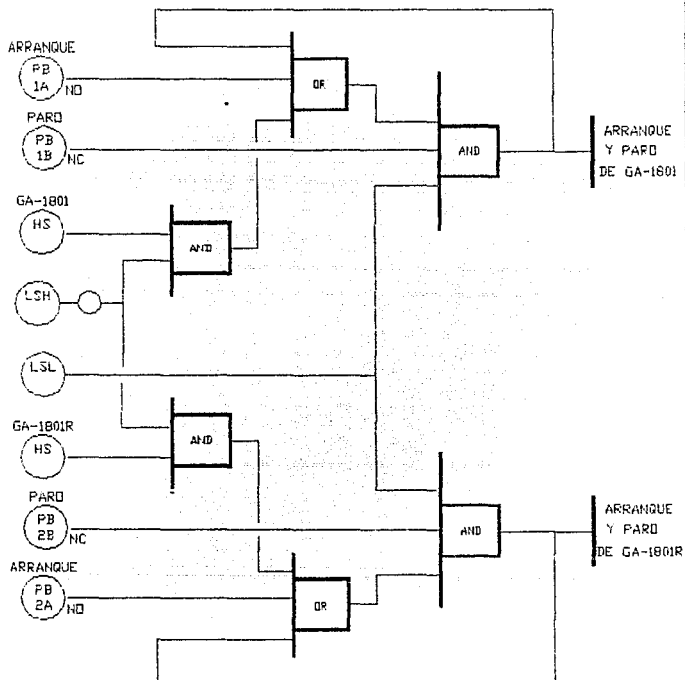


FIGURA 5-11
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 BOMBAS DE DESAGUE
 DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

contactos (para lo cual estos fuerón alambrados normalmente cerrados) desenergizando los motores de las centrifugadoras provocando que estas dejen de operar. En ese momento una alarma de alto nivel indicará al operador que se llegó al punto de ajuste de alto nivel y que las bombas pueden ser operadas, entonces serán puestas en marcha manualmente.

El sistema cuenta con dos centrifugadoras; una de operación normal GF-180I y otra de servicio de relevo GF-180IR. Para poder operar cualquiera de ellas se cuenta con un interruptor manual de tres posiciones. Cada una de la posiciones tendrá una función diferente que el operador podrá seleccionar de acuerdo a las condiciones de operación del momento.

Las diferentes posiciones del selector son:

1. Fuera de servicio: En este punto ninguna de las centrifugadoras estará en contacto por lo que no podrán ser operadas.
2. Centrifugadora GF-180I en operación: En esta posición la centrifugadora de operación normal podrá ser parada o arrancada por los interruptores de nivel en forma automática de acuerdo a las condiciones de operación.
3. Centrifugadora de relevo en operación: En esta posición la centrifugadora GF-180IR será la que esté en contacto para operación automática.

Cuando la alarma de alto nivel sea energizada, el operador podrá poner a funcionar las bombas manualmente, al oprimir los botones de arranque PB-1A o PB-2A ya sea la bomba de operación normal o la de relevo. Es decir, el mismo operador decidirá cual de las bombas será utilizada, de acuerdo a su estado de operación.

Si al estar en operación alguna de las bombas el interruptor de bajo nivel LSL detecta un nivel menor o igual al de su punto de calibración, éste abrirá sus contactos desenergizando el motor de la bomba en servicio provocando que ésta se detenga.

En el momento en que la bomba sea detenida, la centrifugadora en servicio será arrancada automáticamente por el mismo interruptor para reestablecer el nivel de operación del tanque de almacenamiento.

Una vez que el nivel del punto de ajuste del interruptor de bajo nivel LSL es sobrepasado, es posible volver a arrancar la bomba de

distribución en turno, aunque la centrifugadora no se haya detenido aún, es decir, aunque el punto de ajuste del interruptor LSH no se haya alcanzado, esto permitirá una operación continua siempre y cuando la descarga y la alimentación sean iguales. Sin embargo, esta operación también deberá ser controlada por el operador dependiendo de las condiciones que se presenten en ese momento.

Hay que notar que las centrifugadoras pueden ser arrancadas y detenidas en forma automática, mientras que las bombas sólo serán detenidas en forma automática y arrancadas en forma manual.

En la figura 5-12 se presenta el diagrama de tubería e instrumentación para el sistema descrito anteriormente.

DESCRIPCION LOGICA.

En este sistema el control automático será manejado por los interruptores de alto y bajo nivel, LSH y LSL, del tanque de almacenamiento, mientras que el control manual será introducido por los botones de paro y arranque de cada uno de los equipos. Como se ve estas son las entradas del sistema y de acuerdo a la presentación del diagrama lógico de control de ejemplos anteriores se agrupan de acuerdo a su funcionamiento, es decir los elementos con solicitudes de paro deben ser agrupados en una compuerta AND, ya que en operación normal todos ellos deberán estar energizados y cualquier evento que desenergice a cualquiera de ellos provoque un paro.

Por otro lado los elementos con solicitudes de arranque deberán ser agrupados en una compuerta OR ya que para iniciar el sistema con sólo uno de ellos que sea habilitado se produzca el arranque.

Es importante ver que en este caso los interruptores de nivel, tanto el de alto como el de bajo presentan solicitudes de arranque o paro, por lo que deberán incluir algún invertidor en donde sea necesario.

El interruptor de bajo nivel provocará un paro en la bomba en operación, por lo que al desenergizarse al llegar a su punto de ajuste lo hará directamente, mientras que deberá arrancar la centrifugadora en turno por lo que aquí se necesitará un invertidor.

Por su parte el interruptor de alto nivel al llegar a su punto de ajuste se desenergizará parando la centrifugadora en turno lo cual

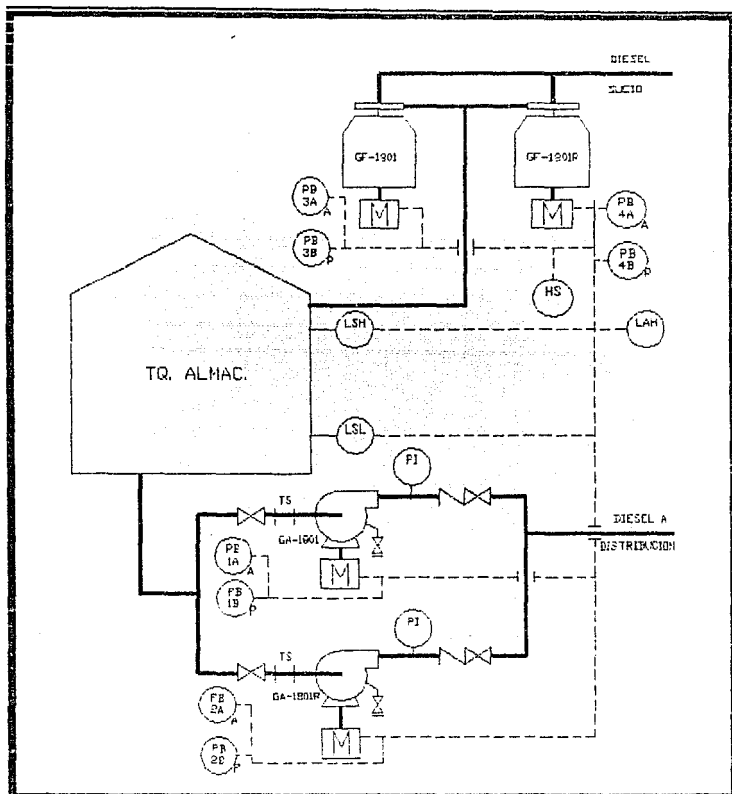


FIGURA 5-12

DIAG. DE TUBERIA E INST.

CENTRIFUGACION DE
DIESEL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

será también una operación directa.

La figura 5-13 muestra el diagrama lógico de control para el sistema citado en este ejemplo.

5.3.7 SISTEMA DE LLENADO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.

Encendido de la bomba.

La alimentación es bombeada ya sea al tanque A o al tanque B. La bomba puede ser operada automáticamente o manualmente, de acuerdo al interruptor manual HS-7 de contacto sostenido, el cual tiene tres posiciones: ON, OFF, y AUTO. Cuando la bomba está operando, la luz roja L-8A está encendida; cuando no está operando, la luz verde L-8B estará encendida. Una vez puesta en marcha, la bomba continúa operando hasta que una solicitud de paro exista o hasta que el suministro de energía del control sea perdido.

La bomba puede ser operada manualmente en cualquier momento siempre que ninguna condición de disturbio exista: La presión de succión no debe ser baja y la presión del agua de sello tampoco debe ser baja.

Con el fin de operar la bomba automáticamente, todas las siguientes condiciones deberán presentarse:

a) Interruptores manuales de contacto momentáneo montados en el tablero, HS-1 y HS-2, comenzarán la operación de llenado para los tanques A y B, respectivamente. Cada interruptor tiene dos posiciones, ARRANQUE y PARO. ARRANQUE desenergiza las válvulas solenoides asociadas, HY-1 y HY-2. Cuando las válvulas solenoides son desenergizadas se provocará que estas vayan a la posición de seguridad a falla, como es el ventear. Esto despresuriza el actuador neumático de las válvulas de control asociadas, HV-1 y HV-2. Al despresurizar las válvulas de control se provocará ir a la posición de seguridad a falla de aire, como abrir. Las válvulas de control tienen interruptores de posición abierta asociados, ZSH-1 y ZSH-2, e interruptores de posición cerrada, ZSL-1 y ZSI-2.

La posición de PARO de los interruptores HS-1 y HS-2 provoca que las acciones opuestas ocurran, es decir, las válvulas solenoides se

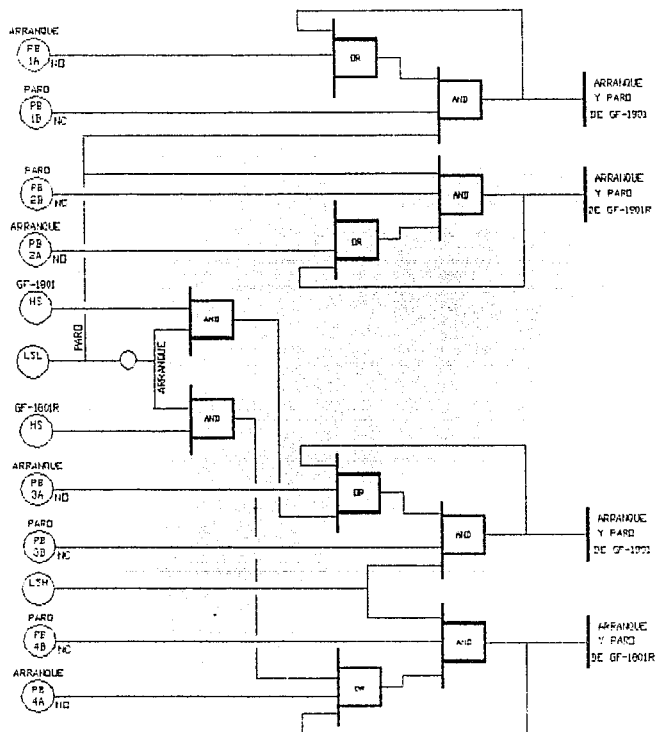


FIGURA 5-13
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 CENTRIFUGACION DE
 DIESEL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

energizarán, los actuadores de las válvulas de control serán presurizados, y las válvulas cerradas.

Si el mandato de arranque se pierde, la memoria de arranque se pierde también y la operación de llenado se detiene. EL comando de paro de llenado será prioritario sobre el comando de arranque.

Para encender la bomba automáticamente, la válvula de control debe estar abierta, ya sea esta HV-1 o HV-2 y la otra debe estar cerrada, dependiendo de cual tanque el A o el B va ser llenado.

b) La presión de succión de la bomba debe estar arriba de un valor dado, el del punto de ajuste del interruptor de baja presión PSL-5.

c) Si la válvula HV-1 está abierta para permitir el bombeo al tanque A, el nivel del tanque debe de estar abajo del valor del punto de ajuste del interruptor de alto nivel LSH-3, el cual también actúa una luz de indicación de alto nivel, LLH-3. Similarmente el interruptor de alto nivel, LSH-4, permite el bombeo al tanque B, si el nivel está abajo del punto de ajuste, y enciende la luz de indicación de alto nivel LLH-4 si el nivel pasa el punto de ajuste.

d) La presión del agua de sello de la bomba debe ser adecuada y será indicada por el manómetro PI-6. Este no es un requisito entrelazado en el circuito de control por lo que el operador deberá prestar atención a este instrumento antes de poner en funcionamiento a la bomba. El interruptor de baja presión, PSL-6, actúa la alarma, PAL-6.

Paro de bomba.

La bomba parará cuando al menos una de las siguientes condiciones exista:

a) Cuando se este bombeando hacia alguno de los tanques y su válvula de control no esté en la posición totalmente abierta, o la válvula del otro tanque no esté en la posición completamente cerrada, esto siempre que la bomba esté en control automático.

b) Que el tanque seleccionado llegue a estar lleno, siempre que la bomba esté en control automático.

c) La presión de succión de la bomba esté abajo del punto de ajuste del interruptor por más de cinco segundos.

d) La secuencia es detenida manualmente a través de HS-1 o HS-2. Si los comandos de arranque y paro existen simultáneamente, entonces el comando de paro tiene prioridad.

e) La bomba es detenida manualmente por el interruptor HS-7.

f) Cuando la presión del agua de sello es baja. Esta condición no está enlazada al circuito de control, y requiere una intervención manual para detener la bomba.

En la figura 5-14 se presenta el diagrama de tubería e instrumentación del sistema descrito.

DESCRIPCION LOGICA.

Como se ha visto hasta ahora las entradas que solicitan paro se agrupan normalmente juntas y las que solicitan arranque también se agrupan por separado. Este sistema cuenta con los interruptores manuales HS-1, HS-2 como entradas al sistema con solicitudes de arranque. Sin embargo, los mismos también pueden contar con solicitudes de paro, así como los interruptores de posición de la válvulas y los de nivel del tanque. En ejemplos anteriores se usaron retroalimentaciones para representar las memorias con pérdida en caso de pérdida de energía, en este caso se utilizarán las memorias correspondientes. También se sobreentenderá que al cerrar o abrir las válvulas de control se requiere la rutina previamente usada para hacerlo.

En las figuras 5-15A y B se presenta el diagrama lógico de control del sistema.

5.3.8 SISTEMA AUXILIAR DE BOMBA DE VACIO.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.

El proceso en el cual está involucrado este sistema necesita un alto vacío para trabajar correctamente. En él, el vacío es mantenido normalmente por un ejector de aire, sin embargo, en caso de alguna falla o sobrecarga del ejector de aire la presión del sistema se elevará. Este aumento será sentido por un interruptor de alta presión PSH, el cual al detectar una presión igual a la del punto de ajuste encenderá automáticamente la bomba de vacío, siempre y cuando que el interruptor manual HS para el motor de la bomba se encuentre en la posición automática. Este interruptor también podrá ser usado para arrancar y parar la bomba manualmente. Sin embargo, no se permitirá el

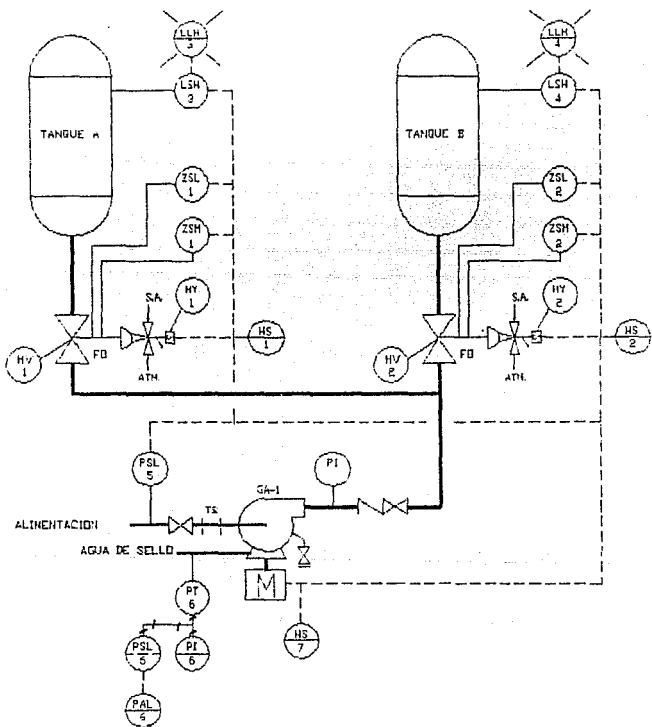


FIGURA 5-14
 DIAG. DE TUBERIA E INST.
 SISTEMA DE LLENADO
 DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

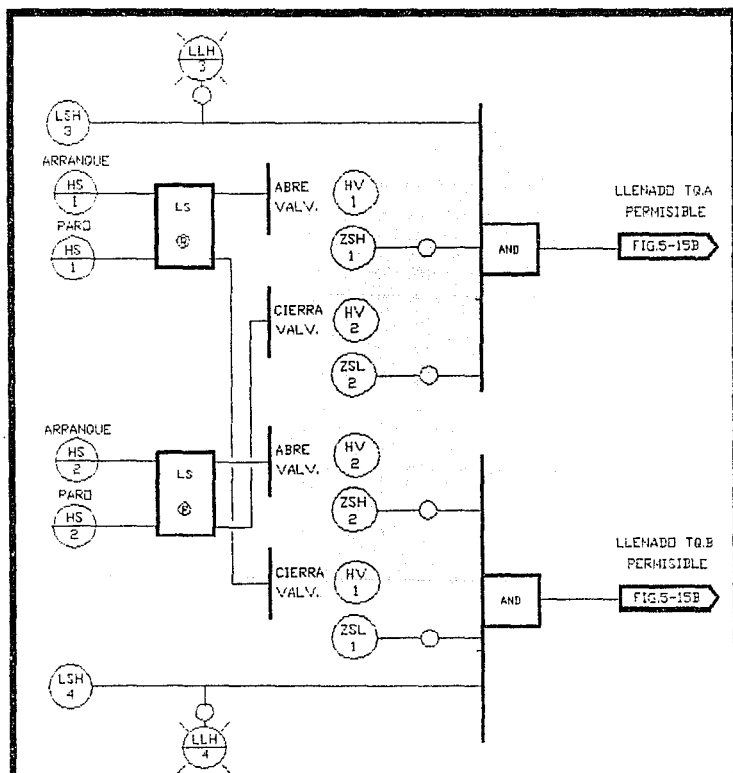


FIGURA 5-15A

DIAGRAMA LOGICO
DE CONTROL

SISTEMA DE LLENADO DE
TANQUE DE ALMACENAMIENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES
ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

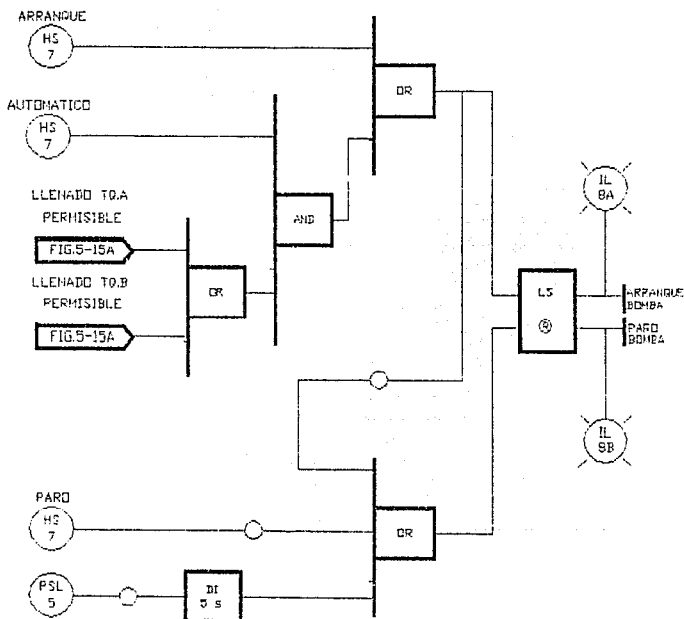


FIGURA 5-15B
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 SISTEMA DE LLENADO DE
 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

funcionamiento de la bomba si la temperatura de descarga, sensada por interruptor de alta temperatura TSH, es alta o si el motor está sobrecargado y su disyuntor del circuito no es manualmente reestablecido.

Si la presión se mantiene alta por más de diez minutos, una alarma de alta presión PAH será actuada. Una temperatura alta es señalada por otra alarma TAH. La sobrecarga del motor será detectada por interruptor de sobrecarga ISH y señalada por la alarma IAH. Si el circuito lógico de control pierde el suministro de energía, la bomba deberá parar automáticamente y no podrá ser reencendida hasta que el sistema sea rehabilitado manualmente.

En cualquier momento que la bomba necesite ser operada, el agua de enfriamiento para la misma será automáticamente encendida. El flujo del agua será controlado por una válvula de control UV actuada por aire y que abre a falla de aire, la cual es operada por una válvula solenoide UY, que en su momento es controlada por el disyuntor del circuito del motor. El agua es automáticamente apagada cuando la bomba es detenida.

En este caso la válvula solenoide no tendrá que ser reajustada después de que ha sido reenergizada. Esto se debe a que en este caso la válvula solenoide cambiará la alineación de sus puertos automáticamente para poder presurizar o ventear el actuador de la válvula también en forma automática, ya que la operación de control en la cual está involucrada no es un evento crítico que tenga que ser rectificado por algún operador como en el caso en el que se usarán las válvulas de reajuste manual.

En la tabla 5-11 se muestra la secuencia de operación de la válvula de control.

Bomba de Vacío	Apagada	Encendida
Contactos auxiliares del disyuntor del circuito del motor.	Cerrados	Abiertos
Válvula solenoide UY	Energizada	Desenergizada
Actuador Válvula UV	Presurizado	Venteadado
Puerto Válvula UV	Cerrado	Abierto
Agua de enfriamiento	Apagada	En funcionamiento

Tabla 5-11 Secuencia de Operación de Válvula de Control

En la figura 5-16 se presenta el diagrama de tubería e instrumentación para el sistema descrito.

DESCRIPCION LOGICA.

De acuerdo a los sistemas anteriores las entradas que solicitan paro se agrupan juntas y las que solicitan arranque por su lado también. En este sistema se cuenta con los interruptores HS el cual es manual y PSH por alta presión o la succión de la bomba de vacío como solicitudes de arranque del motor de la bomba.

Por otro lado las solicitudes de paro estarán dadas por el interruptor de alta temperatura a la descarga de la bomba TSH, por el interruptor de sobrecarga del motor ISH y por el mismo interruptor manual HS.

Las únicas salidas del sistema de control serán el arranque o paro del motor de la bomba de vacío y su consecuente suministro de agua de enfriamiento.

En la figura 5-17 se presenta el diagrama lógico de control del sistema.

5.3.9 SISTEMA DE MEZCLADO POR LOTES PARA REACTOR.

El sistema que se estudiará básicamente consiste de un tanque de mezclado al que se le agregan una serie de ingredientes mediante una secuencia particular mediante el control del flujo de ellos y de la operación de sus bombas.

Para iniciar la operación de mezclado será necesario oprimir el botón de arranque PB-1, el cual pondrá a funcionar las bombas GA-101 y GA-102 las cuales agregarán los ingredientes A y B respectivamente. Para que este arranque sea aceptado, por un lado el tanque de mezclado debe estar vacío y por otro lado debe de estar apagada la bomba de recirculación. Esto será detectado por los interruptores de bajo nivel LSL-100 del tanque y el de baja presión PSL-100 a la descarga de la bomba de recirculación.

Una vez iniciada la alimentación de los componentes A y B al tanque de mezclado se deberán esperar dos minutos para arrancar el agitador y un minuto después del arranque del agitador arrancar la bomba de

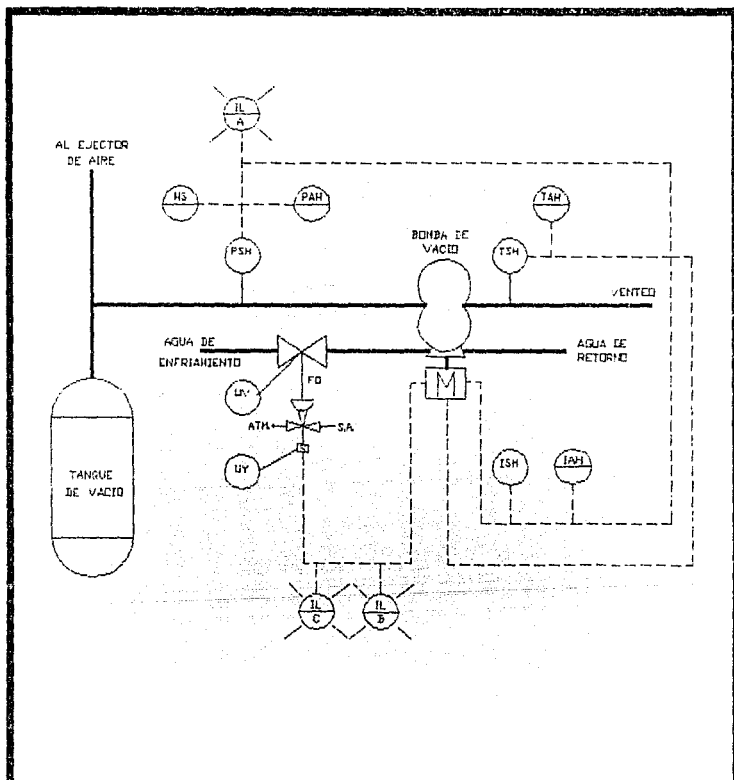


FIGURA 5-16
 DIAG. DE TUBERIA E INST.
 SISTEMA AUXILIAR
 BOMBA DE VACIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

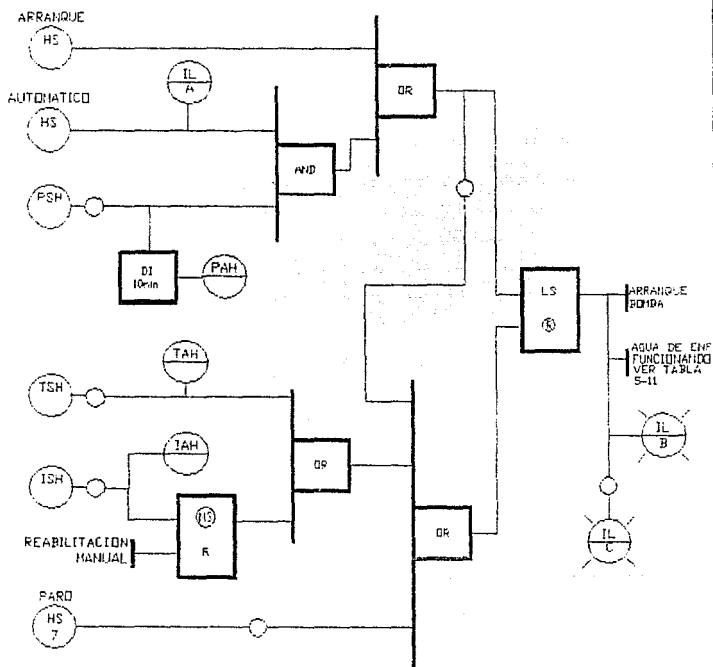


FIGURA 5-17
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 SISTEMA AUXILIAR
 BOMBA DE VACIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

recirculación, ambos equipos estarán en operación durante todo el proceso y deberán ser apagados automáticamente al iniciar la descarga.

Después de que los ingredientes A y B se han agregado totalmente, entonces el ingrediente C será comenzado a alimentar. Esta situación será controlada por los interruptores totalizadores de flujo FQIS-101 y FQIS-102, los cuales tendrán sus contactos cerrados en las condiciones normales de operación para provocar la desenergización de los motores de las bombas relacionados a ellos, en el momento en que el flujo total para cada uno de los instrumentos llegue a su punto de ajuste se pondrá en funcionamiento la bomba GA-103.

Una vez que el ingrediente C ha sido terminado de alimentar, se llegará al punto de ajuste del interruptor totalizador de flujo FQIS-103 que provocará el paro de la bomba GA-103, entonces mantendrá el mezclado por espacio de cinco minutos antes de proceder.

Al transcurrir los cinco minutos de mezclado, la bomba GA-104 comenzará a operar y además será activada la señal de ajuste de pH. Este ajuste será realizado mediante la adición del componente D, el cual provocará un aumento de pH que será detectado por el interruptor de alto análisis ASH-104 al llegar a su punto de ajuste, en ese momento abrirá sus contactos desenergizando la bomba GA-104 y mandando una señal de arranque para el motor de la bomba GA-105, la cual alimentará al ingrediente E.

El control de la alimentación del ingrediente E será también por el interruptor totalizador de flujo FQIS-105, el cual al detectar que el flujo integrado ha llegado al punto de ajuste detendrá el funcionamiento de la bomba GA-105.

Nuevamente se procederá a una etapa de mezclado de tres minutos. Cuando esta etapa haya concluido automáticamente el mezclador y la bomba de recirculación serán detenidas. Dos segundos después, con el fin de que los interruptores PSL-100 o ISL-100 del motor del mezclador detecten su punto de ajuste, se dará la señal de arranque de la bomba de descarga GA-107 la cual será controlada por el interruptor de bajo nivel del tanque LSL-100.

Un sistema como el descrito anteriormente tendría un costo considerablemente elevado. Sin embargo, sería producto del análisis del

proceso el llevarlo a cabo o proceder por sistemas de control más rústicos y por etapas no siendo totalmente automatizados.

El fin de este sistema es el de ilustrar como se realiza el diagrama lógico de control para un sistema totalmente automatizado.

En la figura 5-18 se presenta el diagrama de tubería e instrumentación para el sistema descrito anteriormente.

Finalmente en la figura 5-19A, B y C se presenta el diagrama lógico de control del sistema.

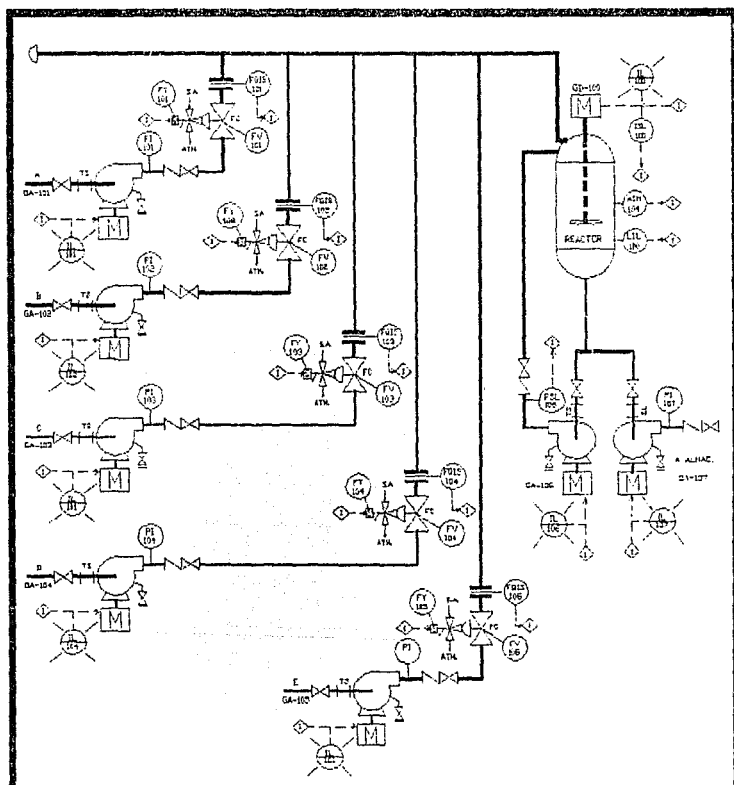


FIGURA 5-18
 DIAG. DE TUBERIA E INST.
 SISTEMA DE MEZCLADO
 POR LOTES PARA REACTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

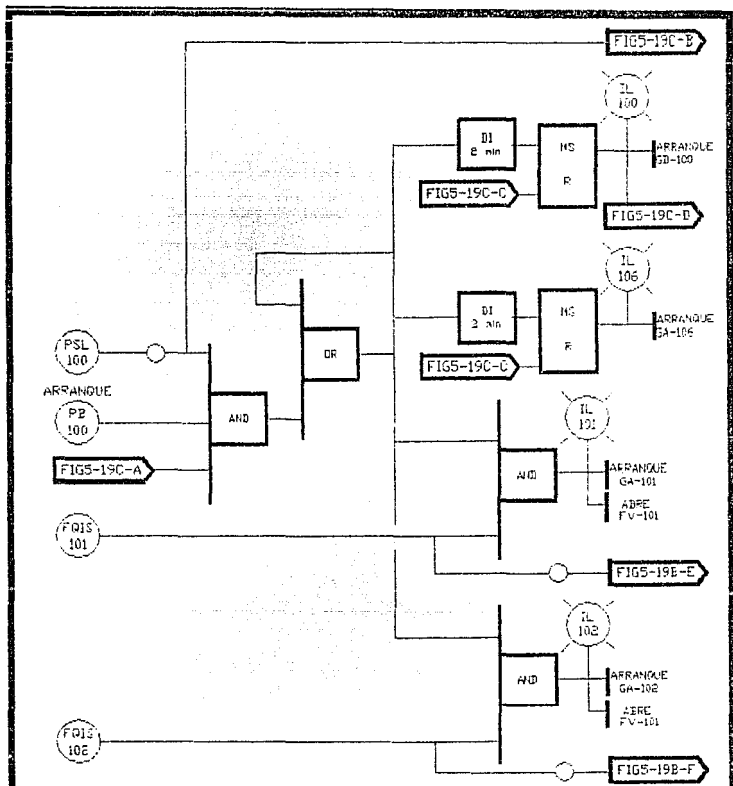


FIGURA 5-19A
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 SISTEMA DE MEZCLADO
 POR LOTES PARA REACTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

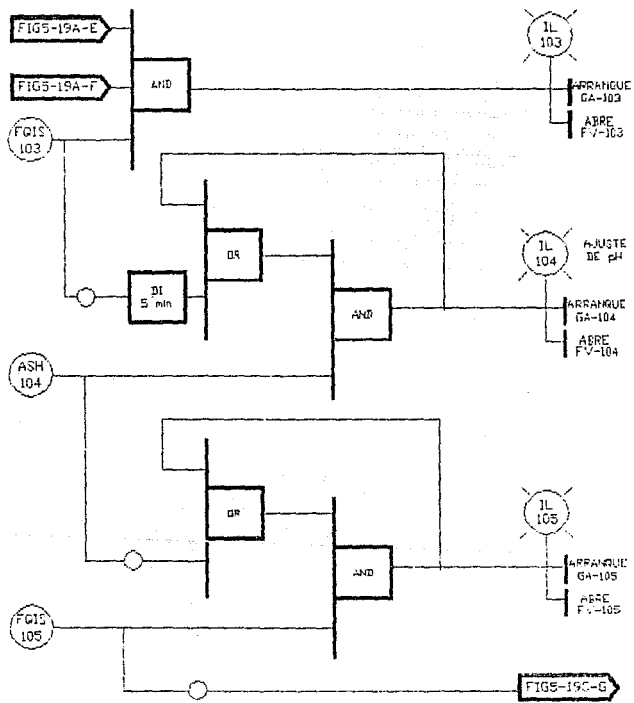
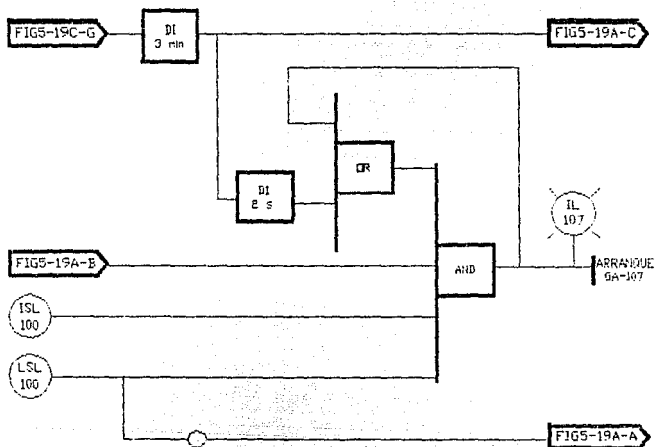


FIGURA 5-19B
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 SISTEMA DE MEZCLADO
 POR LOTES PARA REACTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL



FIGS-19C
 DIAGRAMA LOGICO
 DE CONTROL
 SISTEMA DE MEZCLADO
 POR LOTES PARA REACTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
 DE MEXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES
 ZARAGOZA

INGENIERIA QUIMICA
 TESIS PROFESIONAL

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

CAPITULO VI CONCLUSIONES

En el presente trabajo 'Diagramas Lógicos de Control para operaciones de proceso' se han incluido algunos conceptos básicos para el análisis y diseño de sistemas de control enlazado, refiriéndose principalmente a la elaboración del documento, estudiando sus fundamentos y aplicaciones. Con el fin de establecer los fundamentos teóricos en los cuales se basa la lógica de las operaciones de control de proceso, se presentaron los sistemas binarios y las tablas de verdad, facilitando la comprensión de los sistemas numéricos lógicos. Posteriormente se presenta el álgebra de Boole, sus teoremas, sus leyes y sus aplicaciones en el desarrollo de circuitos lógicos.

Dentro del desarrollo del trabajo se ha insistido como los diagramas lógicos de control guardan una gran importancia en la elaboración de la ingeniería de proyectos principalmente en la etapa de ingeniería de detalle, ya que son un medio de comunicación entre la gente de proceso, control, proyecto y diseño eléctrico que por pertenecer a diferentes disciplinas requieren de un lenguaje común simple y eficiente, el cual debe ser bien conocido por el personal involucrado.

En muchas de las ocasiones de análisis y diseño de sistemas de enlace, cuando el ingeniero de control se encuentra ya familiarizado con la elaboración de los diagramas lógicos de control puede trabajar con ellos sin necesidad de hacer consultas acerca de la información de las compuertas lógicas y mucho menos de conceptos básicos como el Algebra de Boole. Esto se debe principalmente a que los sistemas de control enlazados tratan de ser lo menos complicados posible, puesto que un sistema de control entre más automatizado este representará gastos más elevados. De esta forma los diagramas lógicos de control resultantes son sencillos.

Otro punto importante por el cual los fundamentos teóricos comunmente no son tomados en cuenta en el análisis y elaboración de los diagramas de control es que tanto las tablas de verdad como el Algebra Booleana aún cuando representan condiciones precisas y son el fundamento de ellos, tiene limitaciones cuando, en ciertas secuencias de control, es necesario involucrar retrasos de tiempo o memorias,

además de que sus postulados y leyes no son fáciles de conservar en la mente.

Debido a sistemas sencillos y a lo descrito anteriormente, es fácil para el ingeniero de control familiarizado con la función de las compuertas lógicas básicas intuir el arreglo y las combinaciones que tendrá el diagrama lógico de control.

Para algunos de los sistemas de control más comunes, en ocasiones el departamento de control cuenta ya con sus diagramas lógicos de control, lo que hace más fácil y rápida la elaboración del paquete de control de un proceso para un proyecto en particular. Sin embargo, siempre es necesario conocer los fundamentos para entender mejor el funcionamiento y la elaboración de los diagramas lógicos de control y contar con una fuente de información de los mismos.

Como se ha dicho existen una gran variedad de aplicaciones de los diagramas lógicos de control, de acuerdo a esto es importante aclarar que existen algunas otras compuertas además de las presentadas en el trabajo, las cuales han sido desarrolladas y adecuadas a aplicaciones específicas a partir de las compuertas básicas presentadas en el capítulo IV. Este tipo de compuertas, elaboradas por el personal dedicado al desarrollo de los diagramas, son ligeras modificaciones a las presentadas en el trabajo y tienen el fin de adecuarse a la necesidad de algún sistema de control. Estas compuertas pueden ser utilizadas sin ningún problema pero bajo un cierto orden, es decir, como se sabe el fin de los diagramas lógicos de control es el de transmitir la información referente al circuito de control entre las diferentes áreas, por lo que estos documentos deben ser claros, sencillos y eficientes y en ellos se puede incluir la información necesaria más conveniente. Sin embargo, la restricción es que las modificaciones serán sobre las compuertas básicas, estas serán cuidadosamente estudiadas con el objetivo de no crear una gran cantidad de compuertas que sean redundantes o que pretendan salir del alcance de las especificaciones del documento de control. Además si una compuerta 'nueva' es aprobada todo el personal involucrado con el documento deberá conocerla o en su defecto se deberá incluir alguna nota aclaratoria o de referencia en el documento. Esto siempre estará sujeto a revisión.

Es recomendable el uso de las compuertas básicas presentadas en cada aplicación lo más que se pueda, así como el evitar el uso de un gran número de compuertas que en ocasiones pueden llegar a confundir. Se debe tratar de adecuar la representación del circuito de control a las compuertas ya disponibles.

Con el fin de realizar un buen diseño del sistema de control enlazado de cualquier planta de proceso, involucrando los diagramas lógicos de control, es conveniente considerar los siguientes puntos, desde la ingeniería básica en la ingeniería de proyectos:

1. Es importante que desde el principio del proyecto se establezcan y controlen rigidamente los formatos y documentos involucrados en la ingeniería de seguridad del proyecto.
2. Análisis general de la seguridad y control del proceso antes de que la ingeniería comience a ser realizada.
3. Determinación de los requerimientos intrínsecos de seguridad y control a falla de servicios y posibles disturbios así como la instrumentación involucrada.
4. Incorporación de todos los datos disponibles con el fin de obtener un conocimiento a fondo del proceso, aún cuando sólo un subsistema va a ser analizado.
5. Revisión de los diagramas de flujo de proceso y de tubería e instrumentación preliminares con el fin de determinar posibles riesgos o disturbios y proponer sistemas de respaldo confiables.
6. Recomendar cambios en el diseño del proceso, basados en los resultados de los análisis anteriores, que eliminarán o disminuirán aquellas situaciones de riesgo o de disturbio definiendo la instrumentación involucrada y los sistemas de enlace requeridos para resolverlas, tomando en cuenta los aspectos económicos, de proceso y seguridad principalmente.
7. Examinar el diagrama de arreglo de equipo (layout) preliminar, con el fin de analizar áreas con posibles riesgos considerando también la seguridad de personal, equipo e instalaciones así como los costos de los sistemas de control involucrados en base a los riesgos propuestos.
8. Recomendar los cambios que reduzcan los riesgos y minimicen los costos financieros como son: cambios de quipo a áreas más seguras,

distancias entre los mismos, aislamientos, barreras de contención, cortinas de agua, etc. para los equipos o áreas críticas.

9. Realización de los diagramas lógicos de control una vez que los sistemas de control se hayan adecuado a los análisis anteriores, a las filosofías de operación y al manual de operación de la planta.

10. Revisión final de los diagramas lógicos de control o instrucciones de operación para su posterior diseño eléctrico. Algunos posibles problemas no contemplados no aparecen sino hasta la etapa en que los procedimientos de control ya han sido detallados.

Las revisiones a los diagramas de flujo de proceso y tubería e instrumentación, a los sistemas de control y sus enlaces y a los diagramas de arreglo de equipo así como la mejoras propuestas al diseño, asegurarán que los principios básicos de confiabilidad y seguridad involucrados en estudios preliminares han sido debidamente seguidos, por lo que el sistema de control será bien realizado para proceder a su instalación.

Debido a la enorme cantidad de procesos y por lo tanto a la gran variedad de situaciones a controlar que pueden presentarse en la industria, es imposible que una revisión como esta pueda cubrirlos total y específicamente. Sin embargo, conociendo sus fundamentos y las herramientas requeridas para cualquier sistema de control, así como ejemplos ilustrativos de estos que se han presentado es posible elaborar el diagrama lógico de control para aquellos circuitos de control que se presenten. Con esto, los diagramas lógicos de control además de ser sencillos son flexibles para adecuarse a las necesidades de control del sistema siempre y cuando estos tengan una naturaleza binaria.

En las plantas de proceso actualmente la palabra clave es la productividad. Otra de las razones que provocan interés en el control del proceso, es que éste es una de las rutas para mejorar la productividad y los diagramas lógicos de control es una de las rutas para mejorar el funcionamiento de los sistemas de control.

BIBLIOGRAFIA

1. A.Pollard. Process Control. Heinemann Educational Books, London, 1971.
2. Antonio Creus. Instrumentación Industrial. Alfaomega SA. de C.V., México, 1992.
3. Chemical Engineering Magazine. Practical Process Instrumentation and Control. McGrawHill Publications Co., U.S.A., 1980.
4. Bela G. Lipták, Kiszta Verczel. Instrument Engineers' Handbook. Chilton Book Co. Pennsylvania, 1984.
5. Coughnagor D.P., Koppel L.F. Process Systems: Analysis and Control. McGrawHill Book Co., U.S.A., 1980.
6. F.G. Shinkey. Process Control Systems. McGrawHill Book Co., U.S.A., 1988.
7. H.F.Raso, M.H.Barrow. Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso. C.E.C.S.A., México, 1984.
8. Harold E. Soisson. Instrumentation Industrial. John Wiley and Sons, U.S.A., 1960.
8. Hohn F.E., Applied Boolean Algebra, An elementary introduction. McMillan, New York, 1960.
10. Leslie M. Zoss. Applied Instrumentation in the Process industries. Vol.IV. Control Systems: Trouble shooting and design. Gulf Publishing Co. Book Div., U.S.A., 1979.
11. Seymour, Lipschute. Matemáticas para Computación. Serie Shaums, McGrawHill Book Co., México, 1983.
12. Sistema 36 del Depto de Sistemas de la Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación, IMP, 1977.
13. Binary Logic Diagrams for Process Operations, Instrument Society of America, ANSI/ISA - S5.2-1976 (R1981).
14. Instrumentation Symbols and Identification. Instrument Society of America, ANSI/ISA-S5.1-1975.
15. Edward G. Rasmussen. Alarm and Shutdown Devices Protect Process Equipment. Chemical Engineering Magazine 1975, 32,12.
16. Cecil L. Smith, Marcel T. Brodmann, Trends in process control. Chemical Engineering Magazine 1976, 84,16.

17. M Ochoa P. Comunicación Optima para el desarrollo del Control Eléctrico en procesos industriales. Revista del IMP, 1976,40.
18. Norman Lieberman, Adrian R. Instrumenting a Plant to run smoothly. Chemical Engineering Magazine 1977, 53,24.
19. J. Victor Becker, Ronald Hill, Fundamentals of Interlock Systems. Chemical Engineering Magazine 1979, 86,21.
20. J. Victor Becker, Designing Safe Interlock Systems. Chemical Engineering Magazine 1979, 86,22.