



43
Zij

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INGENIERIA EN COMPUTACION

SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCION DE SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN COMPUTACION
P R E S E N T A N :
CAROLINA FLORES ILLESCAS
DOUGLAS SERGIO SAUCEDO PRUD'HOMME

DIRECTOR DE TESIS:
DR. FELIPE LARA ROSANO

México, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**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 esta 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.

A MI MADRE GABRIELA PRUD' HOMME DE SAUCEDO

POR SER UN EJEMPLO DE TENACIDAD

A MI PADRE SERGIO SAUCEDO TOUSSAINT

POR TU GRAN SACRIFICIO PARA QUE LLEGARAMOS A SER ALGUIEN
EN LA VIDA

A MIS HERMANAS CAROLINA, CONCEPCION Y GABRIELA

POR SER PARTE DE MI VILA

A MIS ABUELOS ESPERANZA, GABRIEL, CONCEPCION Y MIGUEL

POR SER LOS MEJORES AMIGOS QUE HE TENIDO

A CAROLINA FLORES ILLESCAS

POR SER LA MEJOR COMPAÑERA EN TODOS LOS MOMENTOS

A MI SOBRINA VALERIA

POR SER UNA NIÑA PRECIOSA

A MI SOBRINO SEBASTIAN

POR SER TAN RISUEÑO

DOUGLAS

A MI MADRE GABRIELA PRUD' HOMME DE SAUCEDO

POR SER UN EJEMPLO DE TENACIDAD

A MI PADRE SERGIO SAUCEDO TOUSSAINT

POR TU GRAN SACRIFICIO PARA QUE LLEGAMOS A SER ALGUIEN
EN LA VIDA

A MIS HERMANAS CAROLINA, CONCEPCION Y GABRIELA

POR SER PARTE DE MI VIDA

A MIS ABUELOS ESPERANZA, GABRIEL, CONCEPCION Y MIGUEL

POR SER LOS MEJORES AMIGOS QUE HE TENIDO

A CAROLINA FLORES ILLESCAS

POR SER LA MEJOR COMPAÑERA EN TODOS LOS MOMENTOS

A MI SOBRINA VALERIA

POR SER UNA NIÑA PRECIOSA

A MI SOBRINO SEBASTIAN

POR SER TAN RISUEÑO

A LA FAMILIA FLORES ILLESCAS

POR SU GRAN APOYO Y COMPRENSION

DOUGLAS

A MI PADRE, CARLOS FLORES CAMACHO
POR SU EJEMPLO Y APOYO INCONDICIONAL

A MI MADRE, ANGELES YLLESCAS TEJEDA
POR SU AMOR Y POR SER UNA GRAN MUJER

A MIS HERMANAS Y HERMANOS: ANGELES, ROCIO, CARLOS Y ESTEBAN
POR SU AMISTAD Y CARIÑO Y POR COMPARTIR SU VIDA CONMIGO

A MIS SOBRINOS, CARLOS, DANIA Y TANIA
POR SER UNA GRAN ALEGRIA EN MI VIDA

A DOUGLAS SAUCEDO
POR QUE LO LOGRAMOS COMPAÑERO

CAROLINA

A LA FACULTAD DE INGENIERIA

A TODOS NUESTROS MAESTROS

AL LABORATORIO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

AL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE CONTROL

A NUESTROS AMIGOS Y COMPAÑEROS

EN ESPECIAL A JULIO ALCANTAR FLORES.

INDICE

Introducción	1
Objetivo	ii
I. ANTECEDENTES	
I.1 Control de Procesos Industriales	
I.1.1 Definiciones generales	2
I.1.2 Características del proceso y el controlador	6
I.1.3 Tipos de controladores	10
I.1.4 Sistemas Multilazos	17
I.1.5 Control Prealimentado	23
I.2 Sistemas de Control Distribuido (SCD)	
I.2.1 Definición	26
I.2.2 Semblanza Histórica	28
I.2.3 Características de los Sistema de Control	35
I.2.4 Funciones	38
I.2.5 Aplicaciones	40

I.3 Sistemas Expertos	41
I.3.1 Semblanza Histórica	41
I.3.2 Definición	44
I.3.3 Estructura	45
I.3.4 Características	48
I.3.5 Ingeniería del Conocimiento	49
I.3.6 Aplicaciones	94
I.4 Referencias	96
II. DEFINICION DEL PROBLEMA	
II.1 Introducción	99
II.2 Definición	100
II.3 Análisis	100
II.4 Planteamiento	105
II.5 Metodología de evaluación para la selección de SCD	
	111
II.6 Referencias	117

III. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

III.1	Introducción	119
III.2	Ciclo de vida del sistema	121
III.3	Inicio del proyecto	122
III.4	Diseño del sistema	122
III.5	Desarrollo del prototipo	127
III.6	Reportes	137
III.7	Referencias	146

CONCLUSIONES

148

ANEXOS

A.	Sistema de Oferta	149
B.	Level5 Object	166

INTRODUCCION

Para la implantación de un Sistema de Control Distribuido (SCD) en una planta, se realiza un análisis de requerimientos y posteriormente es necesario convocar a un concurso entre proveedores. Lo anterior genera el problema de evaluar y seleccionar un Sistema de control distribuido.

La presente tesis realiza un análisis de Sistemas de control distribuido y propone una herramienta para la evaluación y selección de un SCD.

Objetivo:

Desarrollo de un Sistema Experto para evaluar Sistemas de Control Distribuido y seleccionar el más adecuado en base a las características y especificaciones técnicas.

I . ANTECEDENTES

I. CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

I.1.1 DEFINICIONES GENERALES

Las industrias de procesos son aquéllas que mediante una serie de pasos establecidos producen un resultado o producto deseado, éstas industrias están formadas por secciones que agrupan procesos elementales y unidades de operación. Cada sección realiza algunos cambios de estado en la materia prima de entrada produciendo uno o mas subproductos además del producto principal. El objetivo de cada sección es que no existan pérdidas, es decir, que toda la energía y materia prima que entra al proceso se convierta en un producto o forma útil [13].

La industria del papel, las industrias química y petroquímica, la industria de fertilizantes y procesamiento de alimentos, la industria metalúrgica, etc. Son ejemplos de industrias de procesos. Para su manejo y control se construyen plantas que se caracterizan por tener grandes instalaciones integradas y automatizadas.

Como se mencionó anteriormente, las pérdidas tienen que ser mínimas y los productos tienen que ser consistentes. Por lo que es necesario un sistema de control que asegure lo anterior. Un sistema de control es la interconexión de componentes en una configuración dada cuya función es dar la respuesta deseada para un proceso en particular. El sistema de control puede ser automático, esto es, que opera sin asistencia o interferencia humana utilizando comandos programados para operar el proceso.

Por lo tanto, el control de procesos es la aplicación del control automático en las industrias de procesos. Los sistemas de control automático son implantados en áreas que pueden ser peligrosas o inaccesibles para operadores humanos.

Los sistemas de control se pueden clasificar de acuerdo al proceso que esta siendo controlado, por ejemplo: sistemas de control de temperatura, sistemas de control de flujo, entre otros. También se clasifican por la naturaleza de los componentes controladores dependiendo de la tecnología empleada en sistemas de control digital o analógico. Sin embargo, la clasificación mas importante es de acuerdo a la ausencia o presencia de retroalimentación. La retroalimentación permite que el controlador reciba información del estado actual del proceso y así ajuste automáticamente las condiciones del proceso para obtener la salida deseada [2].

Los sistemas de control comparten características estructurales comunes por lo que se utilizan diagramas de bloques para describirlos consistentemente como se muestra en la figura 1:

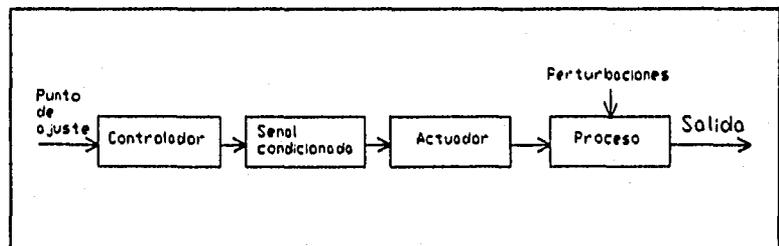


Figura 1. Sistema de control de lazo abierto

En la figura 1 se muestra el diagrama de un sistema de control típico sin retroalimentación, el cual se denomina sistema de control de lazo abierto.

Si al diagrama de bloques de la figura 1 le agregamos retroalimentación, tenemos ahora un sistema de control de lazo cerrado (ver figura 2).

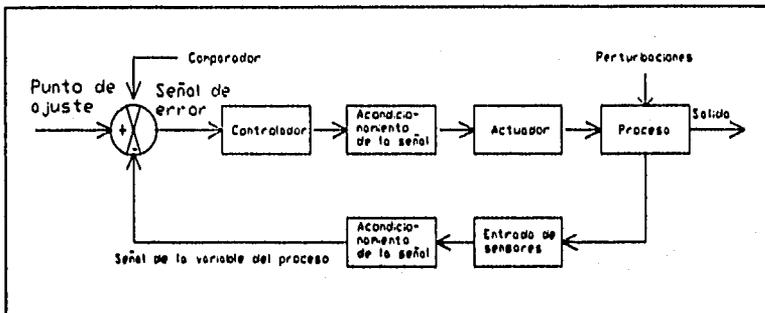


Figura 2. Sistema de control de lazo cerrado

A continuación se describen los bloques principales de un sistema de control de lazo cerrado:

Proceso.- Es la operación a controlar.

Variable del proceso.- Es el parámetro físico del proceso que cambia espontáneamente o debido a perturbaciones, es medida continuamente y su magnitud es enviada como la señal de retroalimentación. Las variables medidas con mas frecuencia son: temperatura, presión, nivel y flujo.

Punto de ajuste.- Es la entrada al sistema que determina el punto de operación ideal o deseado para el proceso.

Perturbaciones.- Son variables no controladas que afectan al sistema o planta de manera negativa.

Comparador.- Es el nombre dado a los componentes electrónicos que determinan si la operación del proceso es igual o no al punto de ajuste.

Controlador.- Es el grupo de componentes que dependiendo de la señal de error produce la señal correctiva mas apropiada.

Actuador.- Es el dispositivo que directamente efectuará cambios en el proceso (motores, calentadores, ventiladores).

Sensores de entrada.- Son transductores que miden la magnitud de la variable de control.

Acondicionamiento de señal.- Son los circuitos que realizan la función de modificar o convertir la señal de manera que sea manejable para otros elementos del lazo de control.

Todos los bloques del sistema de control son necesarios pero destacan dos elementos: el proceso y el controlador. El proceso porque a partir de la especificación de sus características se determinará el modo de control a emplear para obtener la salida deseada y el controlador para garantizar su respuesta ante perturbaciones. En las siguientes páginas se detallan sus características respectivamente.

I.1.2 CARACTERISTICAS DEL PROCESO Y EL CONTROLADOR

1.-Características del proceso

a) Ecuación del proceso

La ecuación del proceso o función de transferencia es la relación que existe entre la entrada al proceso y su salida. La variable de control puede depender de otros parámetros, así que si se registra una desviación del punto de ajuste, es necesario cambiar alguno de los parámetros de acuerdo a la ecuación del proceso para que la variable de control regrese al valor deseado.

b) Entrada del proceso

A cada uno de los parámetros del proceso se le asigna un valor nominal y al conjunto se le denomina entrada nominal del sistema. Para el caso de la variable de control se fija el valor del punto de ajuste.

c) Autorregulación

Es la tendencia del proceso a encontrar un valor específico para la variable de control cuando no hay operaciones de control y la entrada es nominal. Un proceso con autorregulación es por ejemplo, un tanque en el cual es bombeado un líquido a una velocidad fija y el flujo de entrada es igual al flujo de salida. Si aumentamos el flujo de entrada, el nivel crece poco a poco hasta llegar al tubo de escape el cual elimina el líquido extra evitando que el líquido del tanque se derrame [10].

d) Retardo

Es la propiedad de un sistema físico por la cual la respuesta a una entrada es retrasada en su efecto. El retardo ocurre en el transporte de masa o energía por una trayectoria particular y esta constituido por la longitud de la trayectoria y la velocidad del movimiento. En los sistemas en donde hay una banda que transporta materia prima y hay que modificar la cantidad o se interrumpió el suministro, se presenta un retardo en lo que llega la materia prima a el alimentador [11].

e) Tipo de proceso:

- *Proceso continuo:* para un periodo largo recibe una entrada nominal y constante y es requerido producir una salida constante y continua. Hay que mantener las especificaciones del producto a pesar de las perturbaciones.

- *Proceso casi-continuo:* En forma es idéntico a un proceso continuo, pero funciona solo por periodos cortos. El problema de control tiene tres partes:

La primera es iniciar la operación rápida y eficientemente, la segunda es que durante la operación controlarlo como un proceso continuo normal y finalmente terminar la operación eficientemente.

- *Proceso por lotes:* un conjunto de elementos es combinado en un contenedor en un tiempo cero y procesado hasta que es convertido en el producto deseado. El contenedor es vaciado y el procedimiento repetido [3].

2. Características del controlador:

a) Error:

Es la desviación de la variable de control respecto al punto de ajuste. Esta dada por:

$$\text{Error} = C_p - C_m$$

en donde:

C_m = valor medido de la variable de control

C_p = punto de ajuste

b) Rango del parámetro de control:

Es la definición del efecto mínimo y máximo que puede tener el controlador en el proceso el cual esta dado como un porcentaje de la escala total. Se expresa como:

$$P = [(S_p - S_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min})] * 100$$

En donde:

P = porcentaje de la salida del controlador

S_p = valor de la salida

S_{\max} = valor máximo

S_{\min} = valor mínimo

c) Retraso de control

Es el tiempo requerido para que el lazo de control del proceso realice los ajustes necesarios cuando se presenta una perturbación, el controlador responde mandando un comando de corrección al actuador para que algún parámetro del proceso adopte un nuevo valor y así compensar el cambio detectado.

La calidad del controlador depende de su capacidad para mantener la magnitud del error dentro del rango permitido y por la rapidez de su respuesta cuando existe una perturbación. La elección del tipo de controlador para cualquier aplicación depende de la velocidad de respuesta deseada, el error tolerable por el sistema y las características del proceso. En la siguiente parte del capítulo analizaremos los principales tipos de controladores.

I.1.3 TIPOS DE CONTROLADORES

1.-Controlador de dos posiciones(ON-OFF)

Como su nombre lo indica el controlador solo tiene dos estados: prendido o apagado. Su estado depende de la magnitud de la variable de control, si está por debajo del punto de ajuste, la salida del controlador es cero o apagado, pero si está por arriba del punto de ajuste la salida del controlador es total o prendido.

Este tipo de controlador tiene un grado de histéresis que es la magnitud de la variable de control que forza a que la salida sea total y debe ser diferente del valor que forza a que la salida sea cero. Si no hubiera histéresis la salida oscilaría perdiéndose el control del proceso.

Para que la salida del controlador sea total, la señal de error debe disminuir a la magnitud indicada por $-Error$ y permanecerá prendido hasta que la señal de error esté arriba de la magnitud indicada por $+Error$. Es importante incluir una flecha a lo largo del rectángulo para indicar la dirección del proceso, como se muestra en la figura:

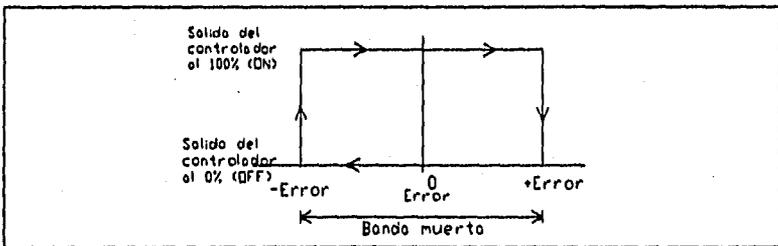


Figura 3. Histéresis del controlador (ON-OFF) [15]

3.- Controlador integral

El principal elemento en este tipo de controlador es un integrador. La velocidad de cambio en la salida del integrador es proporcional a la entrada, si la entrada se incrementa, la salida cambia incrementando su velocidad. Y se expresa como:

$$V_{\text{salida}} = -K_i \int V_{\text{error}} dt + V(0)$$

En donde: K_i = constante

$V(0)$ = salida del controlador para $t=0$

En este tipo de controlador es posible alcanzar un error igual a cero y mantenerlo en cero debido a que la salida no cambia una vez que la entrada llegó a cero.

Los controladores integrales casi no se utilizan de una manera aislada, sino en combinación con el controlador proporcional.

4.- Controlador derivativo:

El elemento básico de este controlador es un diferenciador cuya salida es proporcional a la velocidad de cambio de su entrada. La acción correctiva de este controlador es inicialmente de gran magnitud y va decreciendo respecto al tiempo.

Su expresión analítica es:

$$V_{\text{salida}} = K_d (d\text{Error}/dt)$$

En donde:

K_d = constante

d_{error}/dt = velocidad de cambio del error

Una desventaja significativa de este controlador es que solo responde a cambios en la señal de error, y si se presenta un error de estado estable no se tomará ninguna acción correctiva, por lo que este tipo de controlador nunca se utiliza solo, sino en combinación con el proporcional e integral.

5.- Controlador proporcional e integral (two term controller, PI)

El controlador es el resultado de la combinación del controlador proporcional y el integral, complementándose una al otro. El controlador proporcional responde rápidamente ante perturbaciones pero no puede reducir el error a cero, en cambio la respuesta del controlador integral aunque es lenta es capaz de reducir el error a cero.

Su expresión analítica es:

$$V_{\text{salida}} = K_p[V_{\text{error}} + K_i \int V_{\text{error}} dt] + V(0)$$

La característica integral permite que exista reinicialización para el punto de ajuste cuando a ocurrido un cambio en la entrada.

La acción de control se muestra en el siguiente arreglo:

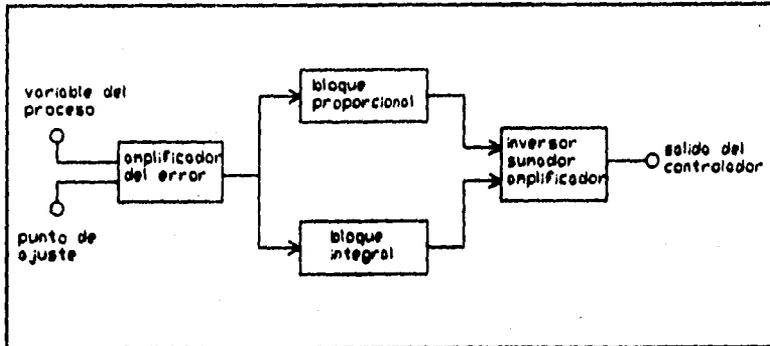


Figura 5. Esquema del controlador PI

En la figura 6 se muestra un diagrama de la respuesta del controlador PI para una señal de entrada escalón con una ganancia unitaria.

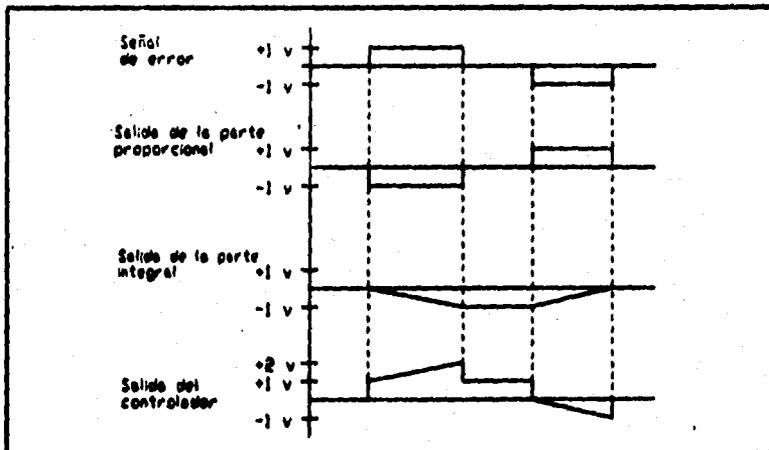


Figura 6. Respuesta del controlador PI para una señal de error tipo escalón.

6.- Controlador proporcional, integral y derivativo
(three term controller, PID)

Los controladores PID aprovechan los atributos de cada tipo de controlador que los conforman. La parte proporcional provee de una respuesta rápida ante perturbaciones, la parte derivativa se asegura de dar una respuesta acorde a perturbaciones repentinas y la parte integral proporciona la eliminación gradual del error.

Su expresión analítica es:

$$V_{salida} = K_p [V_{error} + K_i \int V_{error} dt + K_d error/dt] + V(0)$$

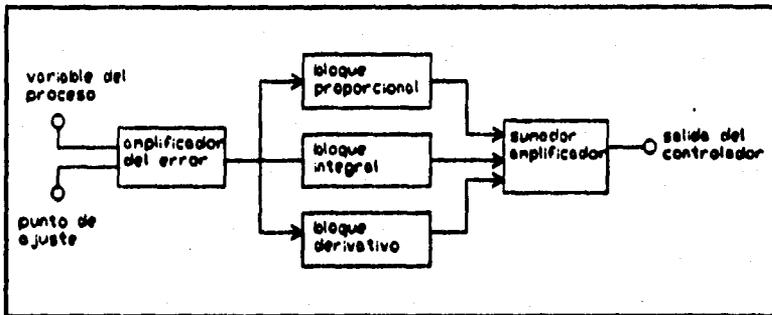


Figura 7. Diagrama del controlador PID

La respuesta al error para el controlador PID es:

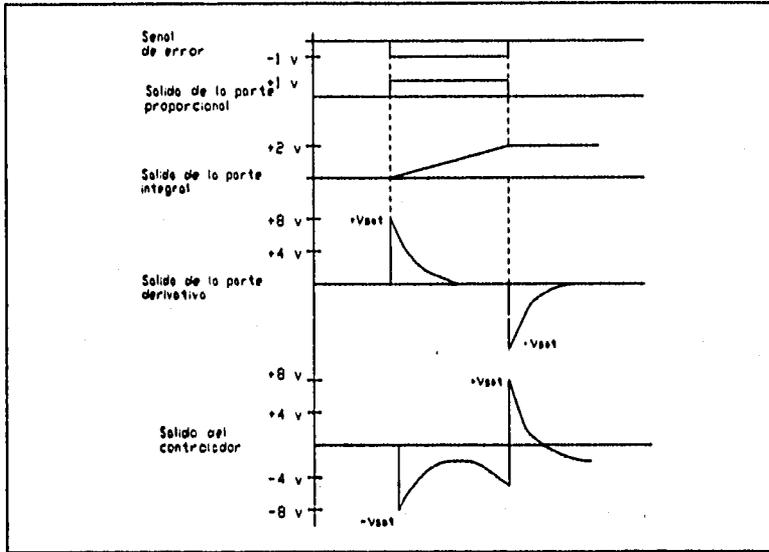


Figura 8. Respuesta del controlador PID cuando existe error [15]

Hasta ahora hemos descrito los elementos principales para un lazo de control así como los algoritmos básicos que se aplican al controlador. A continuación se describen las configuraciones más frecuentes combinando diferentes lazos de control llamados sistemas multilazos.

I.1.4 SISTEMAS MULTILAZOS

Son sistemas en donde una variable es manipulada para satisfacer la especificación de una cierta combinación de variables controladas.

Los sistemas multilazos se dividen en cuatro tipos principales:

1. Sistema de control en cascada

El control en cascada divide el proceso en dos partes cada una constituye un lazo cerrado. La variable manipulada (c_2), el controlador secundario y su medición (m_2) constituyen un lazo cerrado. La salida del controlador primario es utilizada para manipular el punto de ajuste del controlador secundario (Ver figura 9).

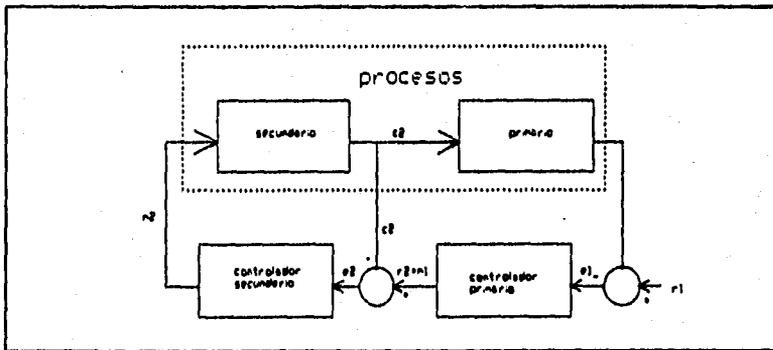


Figura 9. Control en cascada

Ventajas del control en cascada:

- Las perturbaciones en el lazo secundario son corregidas por el controlador secundario antes de que puedan afectar la variable primaria.
- El retraso en fase existente en la parte secundaria del proceso es reducida por el lazo secundario. Esto incrementa la velocidad de respuesta del lazo primario.
- Las variaciones en la ganancia de la parte secundaria del proceso son dominadas dentro de su lazo.
- El lazo secundario permite una manipulación exacta del flujo de masas y energía en el controlador primario.

2. Sistemas de control con salida múltiple

Los sistemas con salida múltiple están formados por dos o más unidades paralelas sirven a un usuario común. Dichos sistemas permiten controlar una sola variable mediante la coordinación de varias variables paralelas. Un ejemplo es el caso de varios boilers descargando vapor en un lugar común cuya presión tiene que ser controlada individualmente dependiendo de su velocidad de calentamiento.

La división de carga entre múltiples variables manipuladas puede ser realizada considerando los siguientes puntos:

- La ganancia del lazo es constante no obstante el número de unidades en automático.
- El operador puede distribuir la carga a su criterio.
- Las unidades pueden ser llevadas fuera de línea con una mínima perturbación de la variable controlada.
- Las unidades pueden estar dentro o fuera de las restricciones con una perturbación mínima de la variable controlada.

La división de carga mas adecuada puede ser alcanzada mediante una coordinación cuidadosa de las variables manipuladas sobre una base calculada ó a través de un lazo retroalimentado secundario rápido. La selección depende de que tanto se pueden predecir los efectos de las manipulaciones y su velocidad de respuesta.

3. Lazos de control selectivos

El control selectivo realiza una asignación lógica de los actuadores para aquellas variables que tiendan a violar los límites especificados ya sea por razones de economía, eficiencia o seguridad.

El control con lazos selectivos se emplea en tres áreas básicas:

- a) Protección de equipo
- b) Subasta
- c) Instrumentación redundante

a) Protección de equipo: consiste en alternar controladores de diferentes variables con el fin de que las perturbaciones o cambios en la entrada no dañen el equipo. En el ejemplo que se ilustra a continuación, un compresor cuya descarga es ordinariamente sobre el controlador de flujo, cambia cuando la descarga de presión excede un límite dado. Durante condiciones de una baja carga o entrada, el controlador de presión debe tener permiso de asumir el control, esto es reduciendo el flujo. Si la demanda de gas es alta, el controlador de flujo debe hacerse cargo para ver que su punto de ajuste no se exceda.

La figura 10 muestra como el controlador que tiene la salida mas baja es seleccionado para manipular la velocidad del motor.

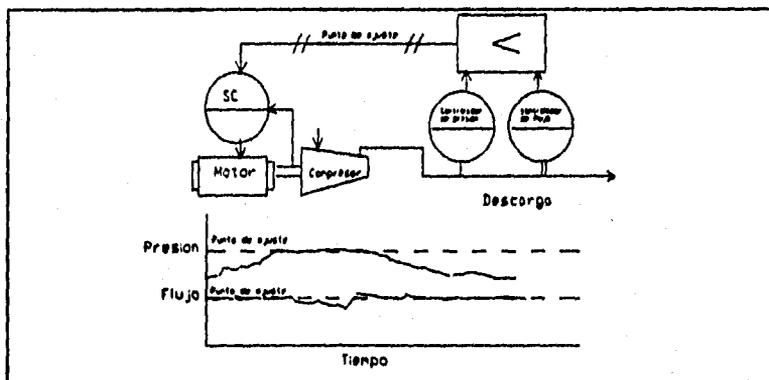


Figura 10. Lazos de control selectivos

b) Subasta: se selecciona la entrada que tenga el valor mas alto de una batería de entradas. Un ejemplo es el control de la temperatura en un reactor se debe de detectar cual es la temperatura mas alta. Todo el tiempo se miden las temperaturas del reactor comparándose entre sí y la más alta se utiliza para el control como se muestra en la figura 11:

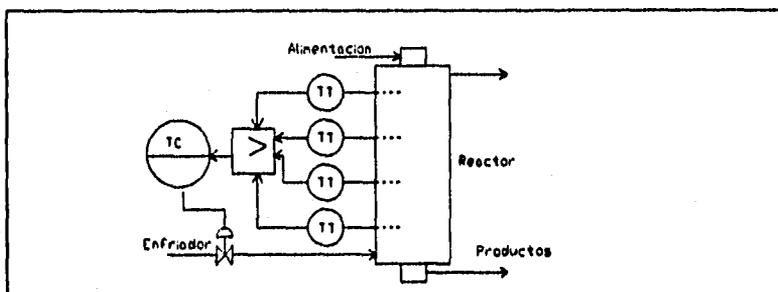


Figura 11. Subasta: Se selecciona la temperatura mas alta del reactor

c) Instrumentación redundante: se utiliza para la protección de instrumentos clave colocados en condiciones arriesgadas dentro de la planta, frecuentemente son utilizados solamente para propósitos de registro o alarma.

Por ejemplo, los analizadores son generalmente menos confiables que otros instrumentos. Por lo que se colocan 2 analizadores juntos y si falla alguno de los dos el otro continua funcionando produciéndose una falla en baja escala. En caso de que los dos fallaran la acción que se

toma es la que se haya definido previamente como segura. El grado de instrumentación redundante (dos o mas analizadores) depende de los efectos que se produzcan en caso de presentarse una falla. (Ver figura 12).

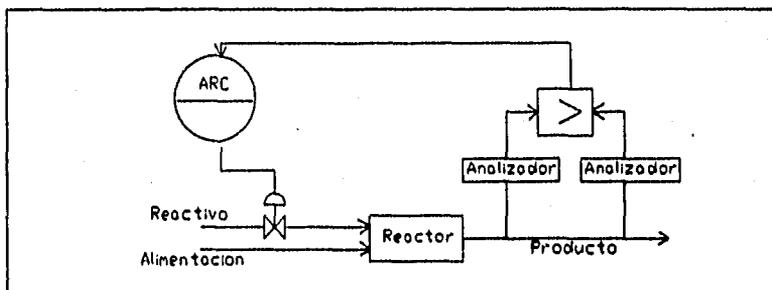


Figura 12. Diagrama de un analizador duplicado.

4. Sistemas de control adaptativo.

Un sistema de control adaptativo es aquel que es ajustado a las necesidades de los procesos, es decir, sus parámetros son adaptados automáticamente para compensar las variaciones correspondientes en las características de los procesos. Se debe especificar un criterio en el cual se base un programa adaptativo. Por ejemplo para determinar la forma particular de adaptación requerida, es necesario especificar un valor para la variable controlada a través de alguna función objetiva de la variable y su punto de ajuste.

I.1.5 CONTROL PREALIMENTADO

El control prealimentado o de lazo abierto se basa principalmente en el punto de ajuste que se utiliza como un comando para darle dirección al sistema. La variable de control no es utilizada por el sistema para cálculos.

En el control prealimentado los factores principales que afectan al proceso son medidos así como el punto de ajuste y son utilizados para calcular, de acuerdo a las condiciones actuales, la salida deseada. Cuando quiera que ocurra una perturbación, la acción correctiva es iniciada inmediatamente para cancelar la perturbación antes de que afecte a la variable controlada.

Este tipo de control se emplea en procesos que por su naturaleza difícil no pueden ser controlados eficazmente debido a que son muy susceptibles a perturbaciones de la entrada o en cambios en su punto de ajuste.

El control prealimentado es en teoría capaz de un control perfecto, no obstante la dificultad del proceso, sin embargo su desempeño es limitado solo por la precisión de las mediciones y cálculos [10].

El control prealimentado tiene ventajas sobre el control retroalimentado ya que:

- La naturaleza de la retroalimentación implica que debe haber un error perceptible para generar una fuerza de restablecimiento.
- El controlador retroalimentado no sabe cual debería ser la salida para cualquier conjunto de condiciones, y solo cambia su salida hasta que la medición y el punto de ajuste son iguales.
- Cualquier lazo retroalimentado tiene un periodo característico natural. Entonces las perturbaciones deben ocurrir en intervalos menores que tres periodos, por lo tanto un estado estable nunca será alcanzado.

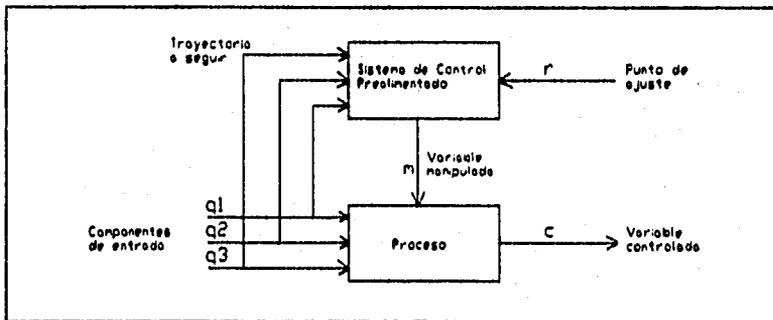


Figura 13. Diagrama simplificado de un sistema de control prealimentado.

En la figura 13 una sola variable es controlada, sin embargo, el número puede variar de acuerdo a el proceso en un sistema de control prealimentado.

El uso de control retroalimentado siempre es necesario para suplementar el control prealimentado, también es necesario para compensar perturbaciones inevitables e imperceptibles, en la figura 14 se muestra el diagrama de un sistema con control prealimentado y retroalimentado.

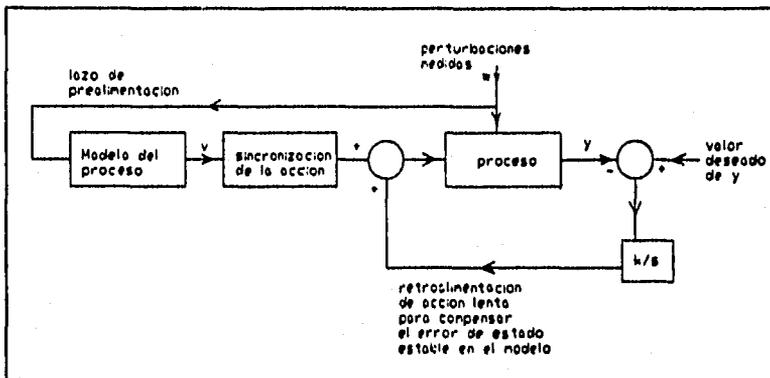


Figura 14. Control prealimentado y retroalimentado.

I.2 SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

En la primera parte del capítulo se presenta una definición general de los Sistemas de Control Distribuido seguida de una reseña de la evolución que han tenido los sistemas de control hasta llegar al concepto de control distribuido. También se mencionarán sus principales características, funciones y sus más importantes aplicaciones.

I.2.1 DEFINICION

Los Sistemas de Control Distribuido son aquellos cuya filosofía de control tiene la capacidad de distribuir tanto funcionalmente como geográficamente el control mientras que la función de operación se podría ubicar en un sólo lugar (todas las unidades de control se comunican al cuarto de operación por medio de un cableado común a todos ellos) [4].

El principio fundamental de los Sistemas de Control Distribuido es el de proporcionar la habilidad de controlar a la planta. Para alcanzar esta meta es necesario distribuir funcionalmente la responsabilidad sobre muchos microprocesadores. Cada uno es responsable de varios lazos de control, además se puede tener cierta redundancia a nivel físico y la posibilidad de que en cualquier momento se pueda cambiar a control manual. Otro aspecto importante es que este microprocesador debe de ser independiente a toda la planta, es decir, que si falla el canal de comunicaciones no interfiera en el funcionamiento del mismo [1].

Los Sistemas de Control Distribuido abarcan estaciones de control locales, capaces de operar autónomamente, ligadas por un canal de comunicaciones y coordinadas por una unidad central.

En la figura 15 se muestra un diagrama del Sistema de Control Distribuido [3].

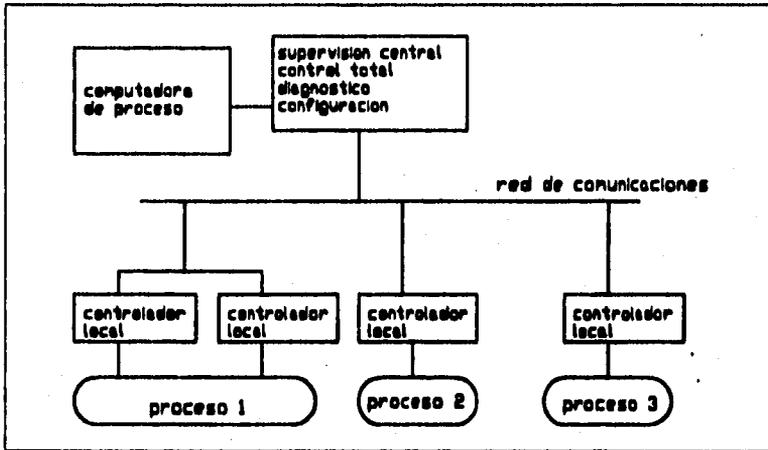


Figura 15. Sistema de Control Distribuido

I.2.2 SEMBLANZA HISTORICA

Medir fué utilizado para regular la transferencia de material y contar su consumo. Tiempo después, medir se volvió importante como un índice de calidad, ya que la construcción de armas así lo requería. Esta medida se hacía con sentido común mas que científicamente. El conocimiento de como medir se transmitía a los aprendices por observación (el aprendiz tenía que saber que las mismas condiciones de ese día no tenían que producir los mismos resultados al día siguiente), esa era una época en que la calidad resultaba muy importante así que se trataba de poner mucho empeño para lograrla.

Antes de la Revolución Industrial los artesanos hacían los productos con mucha calidad pero en pequeñas cantidades. Con el crecimiento de la población la producción se hizo insuficiente por lo que fué necesario la introducción de las máquinas en el proceso de manufactura de los productos [4].

En 1769 se marca el inicio de la Revolución Industrial con la creación de la máquina de vapor de James Watt; la que contenía un controlador realimentado de velocidad. En 1800 Eli Whitney introduce el concepto de intercambio de las partes de manufactura dando inicio a la producción en masa [2].

En pleno apogeo de la Revolución Industrial cuando las máquinas comenzaron a elaborar los productos en gran cantidad ya no era posible hacer todo el producto perfecto así que además de la calidad se añadió otro criterio de medida: la consistencia. Esto significaba que un producto de un lote tenía que ser igual en cualquier

otro lote, sin importar las impurezas de los materiales con que se construyó el producto (la espada samurai es un ejemplo de calidad, tenía que ser un metal casi puro. En cambio en una lata no importa mucho que el material con que se elabora sea puro, sólo que tenga las medidas y resistencia requerida).

Con la introducción de las máquinas en la producción se desarrollaron los instrumentos de medición (termómetros de mercurio, manómetros, flujómetros, medidores de presión, etc.) con los que se podía ver las condiciones del proceso y así determinar si era necesario ajustar las válvulas para mantener el proceso en la mejor condición posible, obteniéndose con ello la consistencia de los productos. Dichos instrumentos se encontraban muy cerca del proceso o aún en el proceso mismo[4]. Para mejorar el desempeño de la planta los operadores utilizaban medios visuales o vocales para comunicarse unos con otros para ponerse de acuerdo en ese momento de si tenían que abrir o cerrar alguna válvula; como el proceso a controlar no era muy complicado dicha forma de comunicación era suficiente para mantener el proceso en óptimas condiciones. Los controladores mecánicos y reguladores son los típicos de esa época. Nótese que el control esta distribuido por la planta tanto funcionalmente como geográficamente.

A finales de la década de 1920 se desarrollan los controladores neumáticos, que proporcionan mayor flexibilidad en la selección de algoritmos de control y en el ajuste de los puntos de operación. Pero todavía para optimizar el proceso completo seguía siendo necesario que los operadores se comunicaran unos con otros (el control continua distribuido por la planta).

La situación cambio en la década de 1930 debido a el crecimiento en tamaño y complejidad de los procesos a controlar; ya no era posible mantener los lazos de control cerrados aislados por lo que se desarrollaron los transmisores neumáticos que permitieron centralizar el despliegue y el control de las variables mas importantes de los procesos. Las mediciones en el proceso se convierten a señales neumáticas, transmitidas al cuarto central donde se computan las señales de control y se regresan a los actuadores que están en el proceso, con lo anterior se facilito el trabajo de los operadores debido a que tenían a su alcance toda la información del proceso, mejorando su funcionamiento y aumentando su seguridad. A este tipo de control se le llama centralizado [13].

Por aquel tiempo se inventa el registrador para llevar una historia del proceso y así facilitar su operación. Al principio los operadores temieron que la instalación de los registradores fuera una medida de vigilancia pero al ver que con los registros de las variables del proceso podían mejorar su funcionamiento y así evitar las fallas; finalmente los operadores aceptaron al registrador como una ayuda en su trabajo.

A partir de 1940 las plantas estaban dotadas con paneles en los cuales se encontraban arreglos de controladores, de registradores, de indicadores, de luces e interruptores y equipo de control neumático [4].

Durante la Segunda Guerra Mundial se desarrolló el control automático teórica y prácticamente, con el objetivo de proporcionar controladores para los

diferentes sistemas que fueron desarrollados y utilizados en la guerra como son: radares, sistemas de posicionamiento de artillería, pilotos automáticos para los aviones y otros sistemas basados en la retroalimentación [2].

En los años 50's fueron desarrollados los controladores electrónicos gracias a la aparición de los transistores, de los amplificadores operacionales y de los circuitos impresos. Estos controladores utilizaban alimentación de corriente directa. Los instrumentos comenzaron a fabricarse cada vez mas pequeños, las distancias de transmisión aumentaron y los paneles se volvieron mas completos[4]. Gracias al desarrollo de los controladores electrónicos se comenzaron a sustituir las tuberías de los controladores neumáticos por cables de eléctricos reduciendo los costos y se desarrollo un tipo de controlador particionado, es decir, el módulo de control se encontraba en un cuarto aparte al central y el módulo de despliegue se encontraba en el cuarto de control central reduciendo en gran medida los instrumentos en dicho cuarto.

Otro importante logro en esa década (septiembre de 1958) fué la instalación de la primera computadora para monitoreo en una planta para la generación de electricidad, en este caso la computadora realiza la adquisición automática de datos y registra periódicamente las condiciones del proceso, poco tiempo después en 1959 y 1960 se instalaron dos sistemas de control supervisorio uno en una refinería y el otro en una planta química. Como en el caso anterior la computadora se encarga de la adquisición, despliegue y registro de las condiciones del proceso y tiene otra tarea que es con los datos

disponibles del proceso calcula los puntos de ajuste óptimos de los controladores analógicos que continúan realizando la función de control, además de que puede realizar optimizaciones económicas mejorando en gran medida el desempeño de la planta.

El próximo paso en la evolución del control fué el uso de una computadora en el lazo primario de control llamándose control digital directo, en esta forma de control la computadora adquiere las mediciones del proceso, calcula la salida de control y la envía a los dispositivos actuadores. El primer sistema de control digital directo se instaló en una planta petroquímica en 1963, por seguridad se añadió un sistema de control analógico de respaldo debido a que todavía los equipos de cómputo no eran totalmente confiables. Con todo y estos problemas de confianza el control digital directo proporcionaba varias ventajas: los parámetros de afinación y los puntos de ajuste no se mueven (las fluctuaciones de los elementos analógicos por temperatura se eliminan), se pueden aplicar algoritmos de control complicados para mejorar el funcionamiento de la planta y los parámetros de afinación se pueden adaptar a los cambios de las condiciones de operación del proceso [13]. Sin embargo, el control digital directo por computadora perdió fuerza debido a dos causas principales: la primera el costo de las computadoras tanto el hardware, como el software y su instalación. En el software el programador tenía que hacer todo el programa de adquisición de datos, de control y de registro. Lo anterior aumentaba los costos además de que los programas no estaban en los tiempos planeados. La segunda causa se refiere a que la computadora no era totalmente confiable por que si

fallaba, la parte del sistema que controlaba quedaba deshabilitada. provocando que los gerentes no quisieran poner en una sola máquina toda la responsabilidad del funcionamiento del proceso.

Los problemas anteriores ocasionaron que la computadora no se volviera el controlador universalmente aceptado en esa época [4].

Resumiendo existían dos arquitecturas dominantes: la primera es la llamada híbrida en la que la computadora se utilizaba como supervisora y los elementos análogos y los secuenciales seguían siendo los encargados del control. En la segunda arquitectura se utiliza una computadora de gran capacidad para realizar todas las funciones de control, adquisición de datos, de registro, de consulta a las bases históricas, etc. En ambas arquitecturas se tienen desventajas para la primera arquitectura como son dispositivos de diferentes fabricantes el integrarlos es difícil y como siguen siendo dispositivos analógicos los que realizan el control se pierde la ventaja del control digital, en la segunda arquitectura la desventaja mayor es que la macrocomputadora es un punto de falla entonces es necesario ya sea poner otro equipo de respaldo idéntico o poner equipo analógico de respaldo aumentando los costos. Debido a las desventajas anteriores se comenzó a buscar otra arquitectura de control con lo que se comenzó a pensar en el control distribuido pero todavía faltaba la tecnología para llevarlo a cabo[13].

A principios de la década de los 70's se logra otro avance con el advenimiento de los circuitos de alta integración (LSI de sus siglas en inglés) que reduce los precios y propicia grandes avances en las computadoras

(aumento en la capacidad de procesamiento, aumento en la cantidad de memoria, las comunicaciones, etc.)[4].

La aparición del microprocesador en 1971 redujo los costos de los equipos computadores dando como resultado que su aplicación fuera más extensa. En el control, esta revolución tecnológica trajo muchos beneficios como la posibilidad de desarrollar el control distribuido que en el año de 1975 vio llegar su primer modelo al mercado[13].

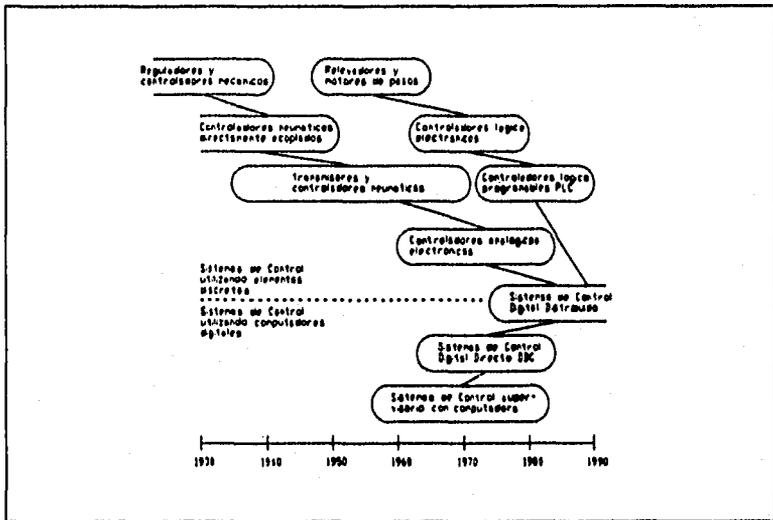


Figura 16 Evolución de los Sistemas de Control[13].

I.2.3 CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Uno de los objetivos en el desarrollo de los sistemas de control distribuido es combinar y mejorar las ventajas de las dos arquitecturas anteriores: La híbrida y la centralizada. Es de vital importancia describir las características para así notar las ventajas que brinda el control distribuido sobre las otras arquitecturas:

a) Escalable y Expandible.- que sea escalable significa con que facilidad un sistema puede ajustarse a las aplicaciones, desde pequeñas hasta grandes. Expandible se refiere a que tan fácil es agregar componentes después de la instalación inicial. Los sistemas híbrido y distribuido son modulares así que son escalables y expandibles, por otro lado el sistema centralizado es diseñado para muy pocas aplicaciones debido a que si la aplicación es pequeña no se justifica el costo y si la aplicación llega a rebasar la capacidad del sistema centralizado es muy costoso ajustarlo a los nuevos requerimientos.

b) Capacidad de control.- Es la potencialidad y flexibilidad de los algoritmos de control que puedan ser implantados en el sistema de control. El sistema híbrido está limitado a los controladores analógicos y si se cambia el algoritmo se tienen que volver a alambrear. En el sistema centralizado y el sistema distribuido se obtienen las ventajas del control digital (habilidad de cambiar de algoritmos sin volver a alambrear, algoritmos de control complejos).

c) Capacidad de la interfaz con el operador.- Es la capacidad del hardware a asistir al operador en realizar

las funciones de control y monitoreo de la planta. La interfaz con el operador en el sistema híbrido consiste de tableros de indicadores convencionales para el control y monitoreo y una unidad de despliegue de video para el supervisorio. En los sistemas centralizado y distribuido se utilizan las mismas unidades de despliegue de video para el control normal, monitoreo y supervisión, se obtiene gran beneficio por que se pueden agrupar partes del proceso dependiendo de su ubicación. Las estaciones en el control distribuido utilizan microprocesadores independientes facilitando su uso en diferentes aplicaciones dependiendo su tamaño pueden ser una o varias estaciones de despliegue a diferencia del control centralizado que son terminales comandadas por una macrocomputadora y su costo es mayor.

d) Integración de las funciones del sistema.- Es el grado con el cual los subsistemas están diseñados para trabajar conjuntamente con los otros subsistemas en una forma integral. Un alto grado de integración reduce los problemas en la adquisición, en interconectar los subsistemas, la puesta en marcha y mantenimiento del sistema. El sistema híbrido es compuesto por diferentes líneas de productos así que su integración es baja. El sistema distribuido sería el siguiente dependiendo de que tan bien diseñados estén los subsistemas para trabajar juntos. El sistema centralizado es el que esta mejor integrado debido a que todo lo realiza la misma computadora.

e) Confiabilidad ante fallas de alguno de los elementos del sistema.- Es la sensibilidad del desempeño del sistema por la falla de alguno de sus componentes. El sistema centralizado es muy sensible a las fallas de

alguno de sus elementos por que se puede detener a todo el sistema si no se tiene algún respaldo. En los sistemas híbrido y distribuido la sensibilidad es menor debido a su modularidad de los mismos.

f) Costos de instalación.- Es el costo del alambrado, del cuarto de control y el espacio necesario para el equipo. El sistema híbrido es el mas costoso por la gran cantidad de cable necesario para conectar el sistema analógico y la computadora, el cable para conectar a los sensores con los controladores y se necesita mucho espacio para todo el equipo. El sistema centralizado elimina la necesidad de conectar el equipo analógico a la computadora, elimina la instrumentación e indicadores con unidades de despliegue de video. El sistema distribuido reduce aun mas los costos utilizando un sistema de comunicaciones compartido para sustituir el cableado de los sensores a los controladores y a otros dispositivos y reduciendo el espacio necesario para la instrumentación con módulos basados en microprocesador.

g) Mantenimiento.- Facilidad para que el sistema permanezca en funcionando después de su instalación. Mantenimiento bajo significa altos costos que incluyen: los costos de repuestos, que la planta no este produciendo y los costos de entrenamiento del personal. El sistema híbrido tiene bajo nivel necesita repuestos de diferentes sistemas (analógico y digital), falta de diagnóstico, entrenamiento de personal de subsistemas diferentes. El sistema centralizado mejora ya que los repuestos son de equipos similares, se tiene diagnóstico para localizar las fallas. Pero como es un sistema complejo se necesita de personal altamente capacitado. El sistema distribuido solo tiene algunos módulos generales

de control y por lo tanto no se requiere de gran diversidad de refacciones y de personal altamente capacitado. Se tiene diagnóstico en línea para aislar las fallas en el nivel de módulos y el reemplazo de módulos dañados se puede realizar en línea sin tener que detener todo el sistema.

Se puede notar las ventajas de la nueva arquitectura de control sobre las dos arquitecturas anteriores (híbrida y centralizada).

I.2.4 FUNCIONES

Las principales funciones de un sistema de control distribuido son:

Adquisición de datos: Se encarga del preprocesamiento de las señales digitales y analógicas del proceso, es decir, de su acondicionamiento, cubriendo las tareas de muestreo, filtrado, detección de límites y reporte a los niveles o funciones superiores.

Control analógico: Se encarga de controlar los diferentes lazos cerrados. En los casos requeridos, se ejecutará esta tarea por medio de bloques computacionales que contienen diversas funciones. El procesamiento de un bloque de control proporcionará una salida con base al algoritmo asignado, la variable de proceso, el punto de ajuste, los límites de operación y otros datos específicos de la aplicación.

Control secuencial: Su función es la de controlar los lazos abiertos. En donde efectuará las secuencias de eventos y acciones lógicas de acuerdo con las funciones de arranque y paro, situaciones anormales y de emergencia

definidas para el funcionamiento de los equipos y operación de la planta.

Funciones de Alto Nivel:

Control Avanzado.- comprende control adaptativo, "feedforward" y algoritmos de optimización.

Implementación de Lenguajes de Alto Nivel

Almacenamiento y recuperación de datos históricos del proceso.

Registro de datos en impresoras.

Funciones avanzadas de alarma.

Procesos de optimización económica y otros algoritmos de control supervisorio[13].

En este nivel se incluyen una serie de tareas tendientes a incrementar la disponibilidad, confiabilidad, seguridad y eficiencia en el suministro de energía eléctrica a la planta [5].

I.2.5 APLICACIONES

Los Sistemas de Control Distribuido se aplican en diferentes plantas industriales como son:

En plantas petroquímicas, refinerías, plantas de acero, cementeras, instalaciones de tratamiento de aguas residuales, televisiva, textil, farmacéutica, minería, termoeléctricas, centrales nucleares, etc. [4].

Por ejemplo, una fábrica de papel cuenta con un cuarto de control desde el cual controla las máquinas para la elaboración de papel, secciones de evaporación, recuperación química, etc.

I.3 SISTEMAS EXPERTOS

I.3.1 SEMBLANZA HISTORICA

La idea de construir modelos computacionales capaces de resolver problemas típicamente humanos ha sido pensada desde hace varios años. La Inteligencia Artificial se ha venido desarrollando durante los últimos años y actualmente esta formada por varias áreas siendo una de ellas los Sistemas Expertos.

El desarrollo de los Sistemas Expertos dentro de la Inteligencia Artificial se inició en los años sesentas. Entre 1976 y 1980 se desarrollaron los primeros Sistemas Expertos: DENDRAL y MACSYMA.

DENDRAL fué desarrollado por Edward Feigenbaum, se utiliza para resolver problemas en estructuras químicas moleculares mediante espectrometría de masas.

MACSYMA esta basado en el programa de computadora llamado SAINT que resolvía problemas elementales de integración simbólica, y en 1979 fué mejorado al programa MACSYMA permitiendo que el sistema trabaje con información simbólica de entrada y de salida logrando un programa muy poderoso. En este periodo tambien fué desarrollado SHRINK que es un sistema médico que ayuda en el diagnóstico de problemas psiquiátricos.

En la década de los años setentas, apareció el sistema MYCIN que fué diseñado para ayudar a médicos en el diagnóstico y tratamiento de meningitis e infecciones bacterianas. Es considerado como el primer sistema experto con la habilidad de hacer inferencias, dar

explicaciones y simular el comportamiento humano, además de ser el primero en manejar incertidumbre.

MYCIN se divide en una base de conocimiento y una máquina de inferencia. Con MYCIN se generó el EMYCIN que se utilizó para construir otros sistemas como PUFF y SACON.

Como un descendiente de MYCIN, se desarrolló PROSPECTOR y se utilizó como ayuda para geólogos para determinar la existencia de depósitos de minerales. En 1982 con ayuda del sistema experto se encontró cerca de Washington un depósito importante.

El sistema HEARSAY II fué un sistema cuyo objetivo se basaba en entender el habla.

Todos los sistemas anteriores se desarrollaron en Estados Unidos. En Europa los Sistemas Expertos tardaron más en desarrollarse ya que la Inteligencia Artificial era muy costosa en su desarrollo además de los requerimientos de software y hardware comparada con los beneficios que retribuía.

La mayor contribución de Europa fué el lenguaje PROLOG en los inicios de los años setentas.

Desde 1980 un gran número de empresas la mayor parte de Estados Unidos involucradas en la alta tecnología realizan investigaciones desarrollando y comercializando los Sistemas Expertos.

Debido a el incremento y complejidad de problemas para su solución por medio de Sistemas Expertos se requieren estrategias mejores y poderosas, apareciendo programas

como STRIPS que se utiliza en el control y desarrollo de robots móviles. El sistema R.1. fué desarrollado por Digital Equipment Corporation en conjunto con la Universidad de Carnegie Mellon para configurar sistemas de computo PDP y VAX.

En 1981 para el desarrollo de computadoras de quinta generación se adoptó PROLOG como el lenguaje fundamental en el soporte de software y hardware.

Actualmente, las investigaciones sobre Sistemas Expertos se llevan a cabo en Universidades de Estados Unidos y Europa, así como en empresas como IBM, DEC, Hewlett Packard[6].

I.3.2 DEFINICION

Un Sistema Experto es un conjunto de programas de computadora que son capaces, mediante la aplicación de conocimientos, de resolver problemas en un área determinada del conocimiento y que ordinariamente requerirían de la inteligencia humana[9].

En un comportamiento experto la experiencia es algo intuitivo y complejo por lo tanto no está escrita o formulada en libros o manuales, un experto sabe cuando examina los hechos y datos que definen el problema cual debe de ser la conclusión. En un intento por implantar en código de computadora el proceso intuitivo de tomar decisiones que posee el experto en un área, se desarrollan los sistemas expertos. Un experto humano, por ejemplo, puede dar una conclusión con un 90% de seguridad y para representar esta incertidumbre en un programa de computadora, se utiliza la probabilidad y la lógica difusa[7].

Un Sistema Experto es un programa de computadora que simula el proceso de pensamiento de un experto humano en resolver problemas complejos de decisión en un dominio específico[8].

I.3.3 ESTRUCTURA

Un Sistema Experto consta de los siguientes módulos:

- La Base de Conocimiento .- Es la parte del Sistema Experto que contiene el conocimiento. Incluye dos elementos básicos :

a) Hechos.- Es lo que se sabe del dominio del problema. Son específicos. Ejemplo: José tiene 20 años.

b) Reglas.- Son las que dirigen el uso del conocimiento para resolver problemas específicos de un dominio particular [6]. SI Juan tiene 20 años ENTONCES ya puede ser presidente

- Debido a que pueden haber muchas entradas y salidas así como cientos o miles de reglas en la Base de Conocimiento, es necesario tener un algoritmo que busque a través de las reglas y encuentre la salida final apropiada, este algoritmo es llamada máquina de inferencia.
- El sistema de adquisición de conocimiento ayuda a mandar de manera ordenada los conocimientos del exterior a la Base de Conocimiento.
- Las salidas del sistema algunas veces son llamadas conclusiones o recomendaciones, dependiendo de la aplicación del Sistema Experto[8].
- El bloque de interfaces es muy importante ya que va a estar en contacto con el usuario. Podemos tener tres tipos de interfaces en el sistema:
 - a) Interfaces especiales: interacción con bases de datos, hojas de cálculo, etc. Para obtener información especial.

b) Interfaces explicativas: explica los resultados a los que llega y la razón de las preguntas que hace.

c) Interfaces de usuario: da y recibe información del usuario por medio de pantallas, menús, reportes.

En la figura 17 se muestra la estructura general de un Sistema Experto.

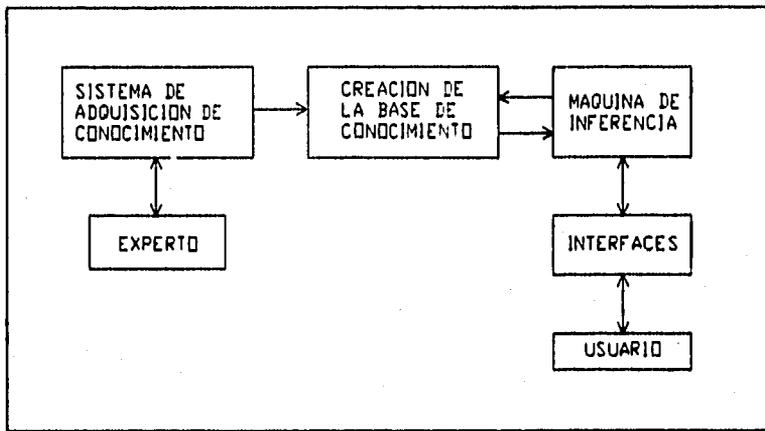


Figura 17. Estructura de un Sistema Experto[6].

Otro elemento importante en el desarrollo de Sistemas Expertos es el Ingeniero del Conocimiento, que es la persona que construye la Base de Conocimiento y cuya función es identificar el conocimiento que un experto utiliza para la solución de un problema así como su representación.

El nivel de desempeño de un Sistema Experto esta en función del tamaño y la calidad de la base de conocimiento (hechos y reglas) que la constituyen. Por lo que es de vital importancia que el conocimiento sea representado adecuadamente[7].

I.3.4 CARACTERISTICAS

Existen una serie de características que un buen Sistema Experto requiere y que se deben considerar durante el desarrollo, en general son las siguientes (no para todos los sistemas):

- El sistema debe especificar la cadena lógica que condujo a una conclusión, de esta manera el usuario puede estudiar como se tomó la decisión y modificar algunas reglas o juicios.
- El sistema debe permitir al usuario corregir las entradas al sistema.
- El sistema debe tener un archivo de datos para guardar y consultar ejemplos relacionados con el Sistema Experto.
- Una de las facilidades más importantes del Sistema Experto es la habilidad de aceptar nuevas reglas. Un buen sistema debe ser capaz de crecer y esto puede suceder debido a que posiblemente se han consultado nuevos expertos, o nuevos "objetos" han sido obtenidos[8].

En los próximos párrafos se explica la llamada Ingeniería del Conocimiento que se utiliza para crear la Base de Conocimiento.

I.3.5 INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO

Los siguientes temas están basados en el libro de Efrain Turban que aparece como la referencia 6.

La Ingeniería del Conocimiento es el arte de traer los principios y herramientas del desarrollo de la IA (Inteligencia Artificial) para referirse a los problemas de aplicación que necesitan conocimiento experto para ser solucionados.

Ingeniería del Conocimiento se ocupa de la adquisición, de la representación, validación, inferencia, explicación y mantenimiento del conocimiento. La Ingeniería del Conocimiento envuelve la cooperación del experto del dominio y el Ingeniero del Conocimiento que trabajan para poder codificar las reglas que utiliza el experto para resolver problemas. Generalmente el experto aplica las reglas de una forma subconsciente por lo que el desarrollo del sistema se hace de una forma iterativa con lo que el sistema va aumentando y mejorando su Base de Conocimiento.

Objetivos de la Ingeniería del Conocimiento:

- a) Construir programas que sean modulares en naturaleza por lo que las adiciones y modificaciones en algún módulo no afecte a los demás (desde el punto de vista del conocimiento).
- b) Que el sistema pueda explicar el por que de sus preguntas, por que hizo algo y justificar sus acciones.

El éxito de los sistemas de IA depende no solo del conocimiento adquirido si no además de la representación que se haga del mismo, es decir, la representación determina la manera en que se va a realizar la inferencia.

El proceso de Ingeniería del Conocimiento consta de cinco actividades:

1) Adquisición del Conocimiento.- Envuelve la extracción del conocimiento de humanos, de libros, de documentos, de sensores.

2) Representación del Conocimiento.- El conocimiento adquirido es organizado en un mapa de conocimiento y codificado en la Base de Conocimiento.

3) Validación del Conocimiento.- El conocimiento contenido en la Base de Conocimiento es validado y verificado hasta que su calidad sea aceptable.

4) Inferencia.- En esta actividad se desarrolla el "software" que permita a la computadora hacer inferencias con el conocimiento y dar consejo al usuario en la solución de problemas específicos.

5) Explicación y justificación.- Esta actividad tiene que ver con el desarrollo de la explicación de porqué se pregunta algo y como se llega a cierta conclusión.

En la figura 18 se muestra el proceso de Ingeniería del Conocimiento.

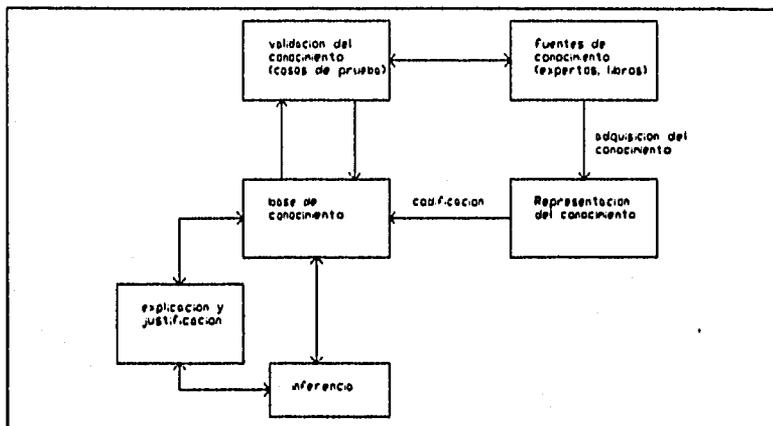


Figura 18. Proceso de Ingeniería del Conocimiento.

En las próximas páginas se explicará cada una de las actividades previamente mencionadas.

1. Proceso de adquisición del conocimiento

El proceso general de adquisición del conocimiento consta de cinco etapas (ver figura 19):

a) **Identificación.**- Durante esta etapa el problema y sus características principales son identificadas. El problema se divide si es necesario. Los participantes (expertos, usuarios) son identificados y los recursos que van a utilizar. El Ingeniero del Conocimiento estudia el dominio del problema.

b) **Conceptualización.**- El conocimiento puede ser muy diverso por lo que es necesario determinar los conceptos

y relaciones a utilizar. Se contestan preguntas (que información a utilizar y cual no).

c) Formalización.- La manera de organizar y representar el conocimiento determina la metodología de adquisición. Aquí se traslapan la adquisición y la representación. También se examina el "hardware" y "software" a utilizar. Esta etapa es difícil por que incluye la extracción del conocimiento.

d) Implantación.- En este punto se hace la codificación del conocimiento dentro de la computadora. Sin embargo, el conocimiento se refina con mas adquisición o cambios. Se desarrolla un prototipo en esta etapa.

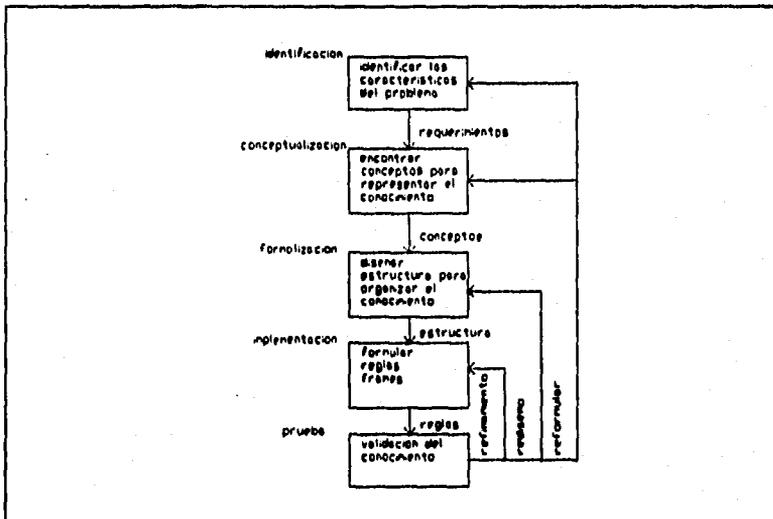


Figura 19. Adquisición del conocimiento.

e) Prueba.- En la etapa final el ingeniero de conocimiento somete al sistema a diferentes pruebas. Los resultados son presentados al experto y el conocimiento se modifica si es necesario. En otras palabras se verifica si el conocimiento es válido.

Como se ve en la figura 19, cada etapa envuelve un proceso circular de iteración en el cual constantemente el sistema va cambiando. El Ingeniero del Conocimiento debe trabajar muy cercanamente con el experto.

Métodos de Adquisición del Conocimiento

El modelo básico de Ingeniería del Conocimiento enmarca a un equipo de trabajo en el que un Ingeniero del Conocimiento se encuentra entre el experto y la Base de Conocimiento. El Ingeniero del conocimiento extrae el Conocimiento del experto, lo refina con el experto y lo representa en la base de conocimiento. La extracción del conocimiento se puede hacer manual o con la ayuda de un sistema de cómputo. La mayoría de las técnicas de extracción manuales han sido tomadas de la psicología o del análisis de sistemas.

Los métodos se clasifican en tres categorías: manuales, semiautomáticos y automáticos. Como se muestra a continuación en la figura 20:

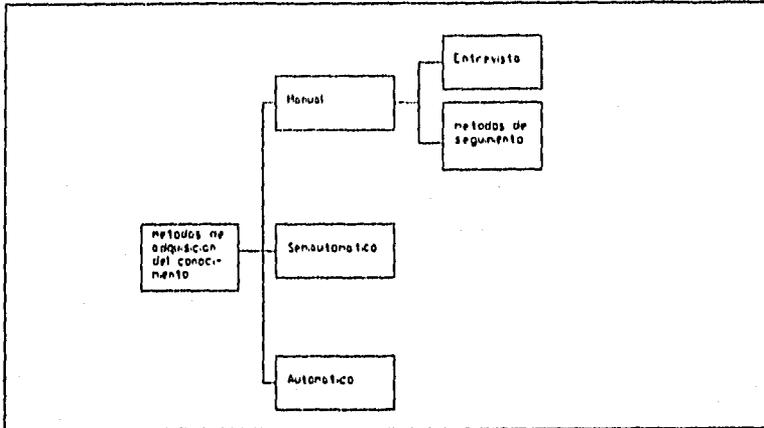


Figura 20. Métodos de adquisición del conocimiento

Métodos manuales

Son básicamente algún tipo de entrevista. El Ingeniero del Conocimiento extrae el conocimiento del experto y/o de otras fuentes y entonces lo codifica en la Base de Conocimiento. Los métodos manuales se dividen en : entrevista y seguimiento (ver figura 21).

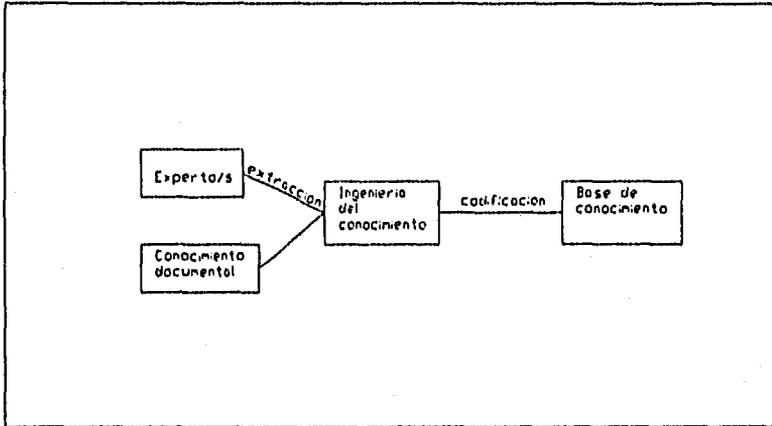


Figura 21. Métodos manuales de adquisición

1) Entrevista.- La forma mas común de adquisición del conocimiento es una entrevista cara a cara. Es un diálogo directo entre el experto y el Ingeniero del Conocimiento. La información es colectada con el apoyo de instrumentos convencionales (grabadora o cuestionarios) y posteriormente se transcribe, analiza y codifica.

En la entrevista se le presenta al experto un problema simulado o un problema real que se espera el experto resuelva. Se le pide que diga como resolver el problema dado. Otra variante de la entrevista es que no se le de un problema al experto, entonces cualquier hecho que el experto necesite debe expresarlo. Con lo anterior la ruta que siga el experto en el dominio debe ser mas evidente, especialmente para definir las entradas del Sistema Experto.

La entrevista puede ser tediosa y requiere que el ingeniero del conocimiento tenga muchas habilidades (de comunicación y de conceptualización) así como el experto debido a que debe tener experiencia en el dominio además de poder expresarla. Por otro lado se necesita poco equipo, es flexible, portátil y se puede obtener mucha información si el Ingeniero del Conocimiento es experimentado.

Podemos distinguir dos tipos de entrevista: la no estructurada y la estructurada.

a) Entrevista no estructurada.- Muchas de las entrevistas de adquisición del conocimiento se conducen informalmente como un punto de inicio. Se utiliza para conocer el dominio lo mas pronto posible, posteriormente se trabaja con una técnica formal. Las preguntas del Ingeniero del Conocimiento son espontáneas por lo que la entrevista no estructurada es simple. Pero el ser simple genera algunos problemas al Ingeniero del Conocimiento:

- El dominio del problema es complejo y si no existe organización difícilmente la entrevista será benéfica.
- A los expertos les es difícil expresar su conocimiento.
- El experto puede pensar que la falta de estructura de la entrevista requiere poca preparación de su parte para la misma.
- Los datos adquiridos en una entrevista no estructurada pueden estar o no relacionados, son de diferentes niveles

de abstracción y por lo tanto son difíciles de revisar, de interpretar y de integrar.

- Por la falta de entrenamiento pocos Ingenieros del Conocimiento pueden conducir una entrevista provechosa.

Finalmente y lo más importante de hacer entrevistas no estructuradas es que dificulta la adquisición de conocimiento específico.

b) Entrevista estructurada.- Es un proceso sistemático orientado a una meta. Forza una comunicación estructurada entre el Ingeniero del Conocimiento y el experto. La estructura reduce los problemas inherentes a las entrevistas no estructuradas y permite al Ingeniero del Conocimiento a prevenir las distorsiones causadas por la subjetividad del experto.

Estructurar una entrevista requiere por parte del Ingeniero del Conocimiento:

- Debe estudiar el dominio del problema.
- Identifica preguntas clave.
- Hace una lista formal y planea las entrevistas. Define metas.
- Hace una lista de preguntas.
- Se asegura que el experto entienda la meta de la entrevista y le pide que se prepare.
- Durante la entrevista sigue recomendaciones para conducir la misma.

Como conclusión las entrevistas son importantes pero deben ser planeadas con cuidado.

ii) Métodos de seguimiento.- El proceso de seguimiento es una serie de técnicas que siguen el proceso de razonamiento del experto. El Ingeniero del Conocimiento puede usar el proceso de seguimiento para encontrar que información es usada y como es usada. Un método de seguimiento es el llamado análisis de protocolo.

Análisis de protocolo.- Es un conjunto de técnicas conocido como análisis verbal del protocolo, es un método para adquirir conocimiento detallado del experto. Un protocolo es un registro o documentación del experto en el que se describe paso a paso el procesamiento de información y el comportamiento del experto en la toma de decisiones. Este método es similar a la entrevista pero mas formal y sistemático. Al experto se le pide que realice una tarea real y que piense en voz alta como realiza su tarea o resuelve el problema. Usualmente se realiza una grabación de lo que dice el experto (la grabación se vuelve un registro o protocolo del comportamiento del experto) posteriormente se transcribe y codifica en la Base de Conocimiento.

En contraste con las entrevistas interactivas el análisis de protocolo se refiere a una comunicación hacia un solo lado.

Ver tabla de la figura 22 en la que se agrupan las ventajas y desventajas del análisis de protocolo.

Ventajas	Desventajas
Experto considera conscientemente su heurística	Requiere cuidado por parte del experto de por que tomo alguna decisión
Experto considera alternativas, atributos y valores	Requiere que el experto categorice las alternativas
Permite que el ingeniero del conocimiento observe y analice el comportamiento en la toma de decisiones	Requiere del experto que pueda decir los atributos y valores de una alternativa
Ingeniero del conocimiento puede registrar puntos de decisión para después revisarlos con el experto	Requiere que el experto razone acerca de la selección de alguna alternativa

Figura 22. Tabla de ventajas y desventajas.

Los otros métodos de adquisición del conocimiento (automáticos y semiautomáticos) no se explican en esta tesis debido a que no se aplican en el desarrollo de nuestro Sistema Experto, para un mayor conocimiento sobre estos métodos se puede consultar la referencia [8]. Existen otros métodos auxiliares: Adquisición del conocimiento documental y Adquisición del conocimiento de múltiples expertos que si aplicamos y que a continuación se describen.

Adquisición del Conocimiento documental

En muchos casos se puede adquirir el conocimiento de otras fuentes que no sean expertos humanos. La mayor ventaja es que no tenemos que utilizar un experto. Este enfoque es utilizado en sistemas expertos donde el fin es manejar una gran cantidad de información mas que expertez

humana. Un ejemplo sería un catálogo o un manual de procedimientos.

No existen muchas técnicas para adquisición del conocimiento documental. La ventaja es que es fácil transferir información documental de cualquier tipo a una base de datos en computadora. Un Sistema Experto puede buscar en bases de datos o digitalizar libros.

Adquisición del conocimiento de múltiples expertos

El objetivo de usar mas de un experto es el de abarcar mas soluciones y combinar los diferentes enfoques de razonamiento o en donde la expertez no este claramente definida.

En algunos sistemas expertos muy especificos es posible crear la Base de Conocimiento con la colaboración de un solo experto y en otros casos es necesario utilizar mas de un experto.

Cuando se trabaja con varios expertos existen diferentes opiniones y conflictos que hay que resolver y cada uno sigue diferentes líneas de razonamiento derivados de sus conocimientos y experiencia que pueden llegar a soluciones conflictivas.

Existen varios escenarios al trabajar con expertos:

1) Expertos individuales.- En este caso los expertos contribuyen con su conocimiento individualmente. Elimina los problemas de trabajar con un grupo de expertos. Sin embargo, el Ingeniero del Conocimiento debe resolver los conflictos y las diferentes líneas de razonamiento.

2) Experto primario y expertos secundarios.- En este caso un experto primario es responsable de validar la información que viene de los otros expertos. El Ingeniero del Conocimiento debe consultar al experto primario al iniciar el sistema para tener un guía en el dominio, de los planes de adquisición y la identificación de los expertos secundarios. El experto primario es visto periódicamente para revisar los resultados de las sesiones de adquisición del conocimiento.

3) Pequeños grupos.- Se consulta a varios expertos juntos y se les pregunta. Trabajar con pequeños grupos permite al Ingeniero del Conocimiento a observar diferentes enfoques para la solución de un problema dado.

4) Grupos de expertos.- Los expertos van a juntas con el propósito de revisar los esfuerzos de desarrollo, contenidos y los planes. Generalmente se prueba el Sistema Experto con un grupo de expertos.

En la tabla de la figura 23, se resumen las ventajas y desventajas de trabajar con varios expertos.

Ventajas	Desventajas
Se tiende a cometer menos errores	Miedo de parte de algunos expertos
Trabajar con varios expertos elimina la necesidad de un experto universal	Soluciones comprometidas debido a los conflictos
Dominio mayor	Perdida de tiempo en las reuniones de grupo
Se mejora la calidad	Falta de confidencialidad (miedo a expresar ideas)
	Dificultades en la agenda (reuniones)
	Expertos dominantes (no dejan hablar a los demás)

Figura 23. Tabla de ventajas y desventajas.

El siguiente paso en la Ingeniería del Conocimiento es el de representar el conocimiento.

2. Proceso de Representación del Conocimiento

Una vez que el conocimiento es adquirido es necesario organizarlo. La parte del Sistema Experto en donde se encuentra el conocimiento se llama Base de Conocimiento. Similarmente a una Base de Datos, la Base de Conocimiento puede ser organizada en diferentes formas. La Base de conocimiento esta organizada de forma diferente que las bases de datos para facilitar rápidas inferencias con el conocimiento que contienen.

Existen dos tipos de representaciones del conocimiento: las que se usan en el análisis y las que se utilizan para codificar.

La relación entre ambas y el proceso de Ingeniería del Conocimiento se muestra en la figura 24.

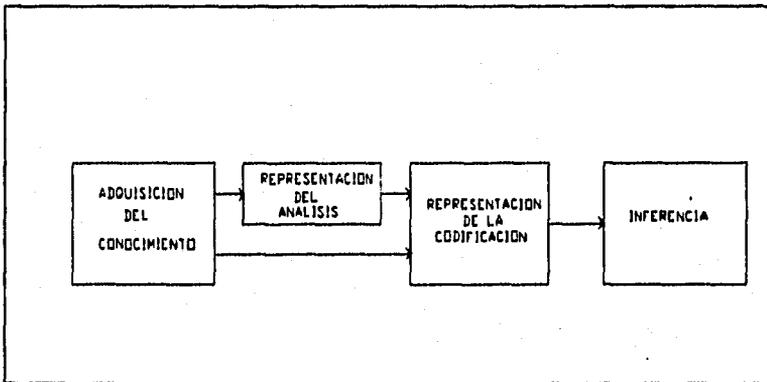


Figura 24. Ingeniería del Conocimiento [6].

Las técnicas de análisis del conocimiento son usadas para soportar la adquisición del conocimiento durante el establecimiento de los alcances del sistema y las primeras reuniones con el experto. La mayoría de las técnicas de análisis son gráficas. Algunas de las técnicas de análisis del conocimiento son: redes semánticas, "scripts", Objeto-Atributo-Valor, tablas de decisión, arboles de decisión.

A continuación se explica cada una de ellas:

1) Redes semánticas:

Es una de las formas de representación del conocimiento mas viejas y fáciles de entender, esta compuesta por nodos y ligas. Las redes semánticas son descripciones gráficas del conocimiento que muestran relaciones jerárquicas entre los objetos.

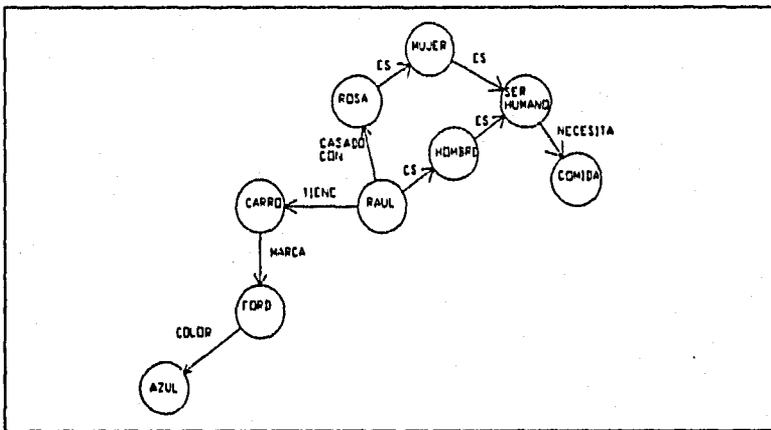


Figura 25. Red Semántica

En una red semántica los círculos o nodos representan objetos e información descriptiva acerca del mismo. Los objetos pueden ser cualquier cosa un libro, un carro, una persona, un concepto, una acción, un evento. Los atributos de un objeto pueden ser también nodos. De esta forma se puede hacer una descripción detallada del objeto.

Los nodos están interconectados por ligas que muestran las relaciones entre los objetos. Estas relaciones pueden ser de pertenencia o de característica. Un hecho importante de las redes semánticas es que muestran herencia. La red semántica es básicamente una jerarquía, en la que algunos nodos heredan características de otros nodos, es decir, en la figura 25 se ve que Raúl es un hombre y a su vez es un ser humano, entonces si preguntamos ¿Si Raúl tiene que comer? si existe una liga hacia ser humano y ser humano come, entonces por herencia Raúl come. Esta característica de las redes semánticas de mostrar herencia permite hacer deducciones.

Las redes semánticas son representaciones gráficas que se deben pasar a términos verbales para ser programados en la computadora. Generalmente esta representación solo es usada en el análisis para después convertirla en reglas de producción o en marcos (del ingles "frames").

ii) Guiones (del inglés "Scripts"):

Es una representación del conocimiento que describe una secuencia de eventos. Para describir una secuencia de eventos, el guión tiene una serie de espacios con información acerca de la gente, objetos y acciones que están envueltas en los eventos. Generalmente, los guiones describen una situación estereotipada.

Los elementos de los guiones incluyen:

a) condiciones de entrada (situaciones que deben ser satisfechas antes que los eventos del guión puedan ocurrir o sean válidos).

b) accesorios se refiere a objetos que se utilizan en la secuencia de eventos que ocurren.

c) papeles (en el sentido de teatro) se refiere a la gente que participa en el guión.

d) camino se refiere a un caso específico de un patrón general.

e) escenas describe la secuencia actual de eventos que ocurren.

f) resultados son las salidas esperadas al terminar los eventos descritos en el guión.

En el siguiente ejemplo se describe el guión de ir a comer a un restaurante de comida rápida.

Ejemplo: ir a comer en un restaurante

guión de restaurante

camino: restaurante de comida rápida

papeles: cliente (c)

servidor (s)

accesorios: mostrador

comida

dinero

servilletas

sal

Condiciones de entrada: cliente con hambre.

cliente con dinero.

escena 1: Entrada

cliente estaciona su carro

cliente entra en el restaurante

cliente espera en la línea del mostrador

cliente lee el menú y decide que pedir

escena 2: Orden

cliente da la orden al servidor

servidor pone la comida en los platos

cliente paga al servidor

escena 3: Comer

cliente toma servilletas, sal

cliente lleva platos a una mesa vacía

cliente come rápido

escena 4: Salir

cliente limpia la mesa

cliente tira la basura

cliente se va

Resultados:

cliente ya no tiene hambre

cliente tiene menos dinero

Ir a un restaurante es una situación con condiciones de entrada predecibles, accesorios, papeles y escenas. Un guión es muy útil en predecir que va a suceder en una situación específica en donde esta completamente definido que es lo que sucede.

iii) Objeto-Atributo-Valor(OAV):

Una forma común de representar el conocimiento es usar objetos, atributos y valores. Objetos deben ser físicos o conceptuales. Atributos son las características de los objetos. Valores es la medida de los atributos en situaciones dadas. Un objeto puede tener varios atributos. Un atributo por si mismo puede ser considerado un objeto, por ejemplo, una puerta es un atributo de una casa pero por si mismo es un objeto. En su representación gráfica los nodos son el objeto o su valor y el atributo es el arco. Ver figura 26.

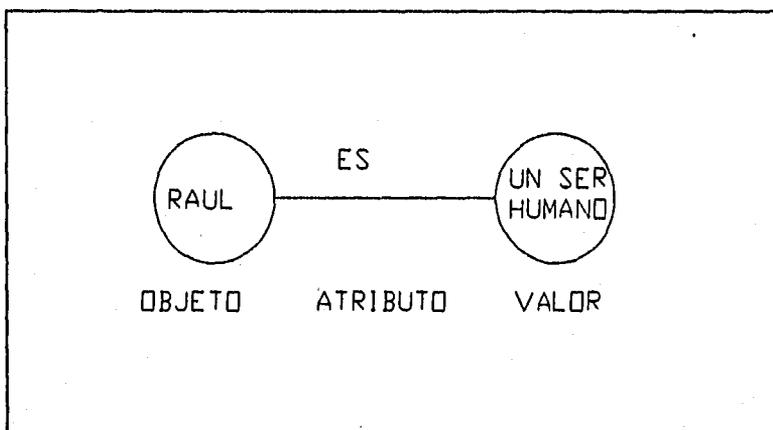


Figura 26. Diagrama Objeto-Atributo-Valor

iv) Tabla de decisión:

Es una forma de representar el conocimiento en tablas usando renglones y columnas. La tabla se divide en dos. Primero se hace una lista de atributos y por cada uno se listan todos los valores posibles en diferentes columnas. Entonces se crea una lista de conclusiones. Finalmente las diferentes configuraciones son asignadas a su conclusión.

Una vez construida la tabla puede servir como entrada a otro método de Representación del Conocimiento.

atributos		
forma	redonda	redonda
sabor	ácido	dulce
color	anaranjado	amarillo
conclusiones		
naranja	X	
manzana		X

Figura 27. Tabla de decisión

v) Árboles de decisión:

Los árboles de decisión están relacionados a las tablas de decisión. Un árbol de decisión debe ser considerado como una red semántica ligada por una serie de reglas. Conjunta la relación del conocimiento con la estrategia de búsqueda. Son compuestos de nodos representando las metas y ligas que representan decisión, la raíz del árbol esta a la izquierda y las hojas hacia la derecha (ver figura 28). Todos los nodos terminales excepto la raíz son instancias de una meta primaria.

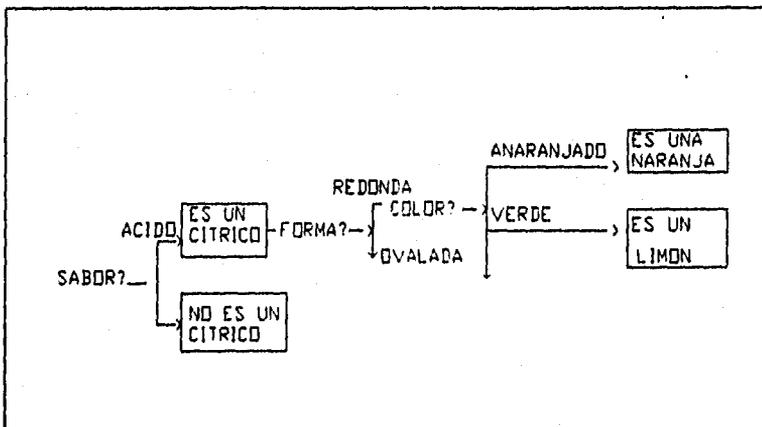


Figura 28. Arbol de decisión

Los árboles de decisión muestran la causa efecto de algo y pueden ser convertidos a reglas de producción como se muestra en el siguiente ejemplo en donde el árbol de la figura 35 es convertido a una regla de producción:

IF el sabor es ácido AND la forma es redonda AND color es anaranjado

THEN es una naranja

Codificación del conocimiento

Ya que el conocimiento es representado por algunas de las técnicas de análisis es el momento de traducirlo para capturarlo en la Base de Conocimiento. Las técnicas de representación del conocimiento que mas se utilizan para codificar son: reglas de producción y los marcos. En los próximos párrafos se detallan las dos técnicas de representación del conocimiento: reglas de producción y marcos, así como su combinación.

1) Reglas de producción:

Los sistemas de producción son representaciones modulares del conocimiento. La idea básica de estos sistemas es que la representación del conocimiento se hace con reglas de producción en la forma de condición-acción: IF esta condición ocurre, THEN alguna acción debe ocurrir.

Ejemplo:

IF ¿esta lloviendo?

THEN llevar paraguas

Cada regla de producción en la Base de Conocimiento implementa una parte de la experiencia que puede ser desarrollada y modificada independientemente de otras reglas.

En realidad las bases de conocimiento basadas en reglas no son independientes. Rápidamente se convierten en dependientes. Agregando una nueva regla puede tener conflicto con una ya existente.

Existen dos tipos de reglas en IA: Reglas declarativas de conocimiento definen los hechos y relaciones acerca de un problema y las reglas procedurales de inferencia aconsejan como resolver un problema, dado que se conocen ciertos hechos.

Ejemplo Regla declarativa de conocimiento:

IF el carro esta detenido

THEN puedes bajar

Ejemplo Regla procedural de inferencia:

IF los datos necesarios no estan en la base de conocimiento

THEN pídelos al usuario

Algunas reglas de inferencia definen como deben de comportarse otras reglas y se les llama metareglas o reglas acerca de las reglas.

Ejemplo:

IF ya se disparo la regla

THEN deshabilita la regla

El Ingeniero del Conocimiento debe separar estos dos tipos de reglas. Las reglas declarativas de conocimiento van a la base de conocimiento y las reglas procedurales de inferencia se hacen parte de la máquina de inferencia (son independientes al dominio).

La representación con reglas es aplicable cuando se necesita una recomendación de acciones a tomar basado en eventos observables. En la figura 29 se muestran las ventajas y limitaciones de las reglas de producción

Ventajas	Limitaciones
reglas son fáciles de entender	conocimiento complejo requiere de muchas reglas
inferencia y explicación son fáciles	quizá existan mejores formas de representación más adecuado al problema
modificación y mantenimiento relativamente fáciles	
la incertidumbre se puede combinar con reglas	
cada regla es usualmente independiente de las otras	

Figura 29. Tabla de ventajas y limitaciones

ii) Marcos :

- Un marco es una estructura de datos que incluye todo el conocimiento acerca de un objeto particular, evento, lugar o situación.
- Los marcos proveen una forma concisa y estructurada para representar el conocimiento en una forma natural.
- A diferencia de otros métodos de representación del conocimiento los valores de un objeto se agrupan en una unidad llamada marco.

Un marco esta compuesto por dos elementos básicos: ranuras (del ingles "slots") y facetas. Las ranuras son un conjunto de atributos que describen al objeto representado por el marco. Una ranura puede describir conocimiento declarativo (como el color de una casa) o conocimiento procedural (como activa una regla si un atributo cambia de valor). Las facetas describen algún conocimiento o procedimiento acerca del atributo en la ranura. Cada ranura contiene una o mas facetas. Las facetas toman muchas formas como son:

Valores.- Describe los atributos como verde, de amarillo, de naranja para una ranura de color.

Por omisión.- Es utilizada si la ranura esta vacía, esto es sin ninguna descripción. Por ejemplo en el marco automóvil una omisión sería que tiene cuatro ruedas. Esto significa que si la ranura esta vacía se dice que el automóvil tiene cuatro ruedas y así lo asumimos si no se dice otra cosa.

Rango.- Indica que tipo de información puede aparecer en una ranura. Por ejemplo solo los números del 1 al 100.

Si se agrega.- Contiene información procedural o conexiones. Especifica una acción a tomar cuando el valor en una ranura es agregado o modificado. Estas ligas procedurales son llamadas "demons".

Si hace falta.- En caso de que se necesite el valor de una ranura y no lo tenga. Se dispara como la faceta de Si se agrega un procedimiento que pide o calcula el valor que hace falta.

Otros.- Las ranuras pueden contener marcos y reglas.

Ciertos procedimientos pueden estar conectados a las ranuras y usados para derivar los valores de la ranura. Un aspecto importante de estos procedimientos es que pueden ser utilizados para dirigir el proceso de razonamiento. Además de asignar valores a las ranuras pueden ser utilizados cuando una ranura es llenada o cambiada. Por ejemplo: En el marco automóvil (ver ejemplo) existen conexiones procedurales para el cálculo de gasto de combustible y la aceleración.

En el siguiente ejemplo se representa un automóvil por medio de un marco.

marco automóvil

Clase de: transporte
Nombre del fabricante: Ford
Lugar de fabricación: E.U.A.
Modelo: Mustang
Tipo: Deportivo
Peso: 3300 lbs
Numero de puertas: cuatro (omisión)
Transmisión: estándar
Motor: (referirse al marco motor)
Aceleración: (conexión procedural)
Gasto de combustible: (conexión procedural)

marco motor

Tipo: en V
numero de cilindros: 8
Alimentación: inyección con turbocargador
Caballos de fuerza: 140

Capacidades de los marcos:

- a) Habilidad para documentar claramente información acerca de un modelo del dominio. Por ejemplo: Un aeropuerto y su funcionamiento.
- b) Chequeo de los valores permitidos de un atributo.
- c) Modularidad en la información, permite la expansión y mantenimiento del sistema.
- d) Las reglas son mas claras debido a que se utilizan los nombres reales de los objetos y sus atributos.
- e) Acceso a mecanismos de herencia de información.

Los marcos son utilizados normalmente para representar conocimiento de características y experiencias muy bien conocidas. Todos usamos sentido común y experiencias almacenadas en nuestros cerebros que nos sirven para analizar un nuevo objeto o resolver un problema.

Jerarquía de marcos

Muchos sistemas de IA utilizan una colección de marcos ligados en una cierta manera (ver figura 30).

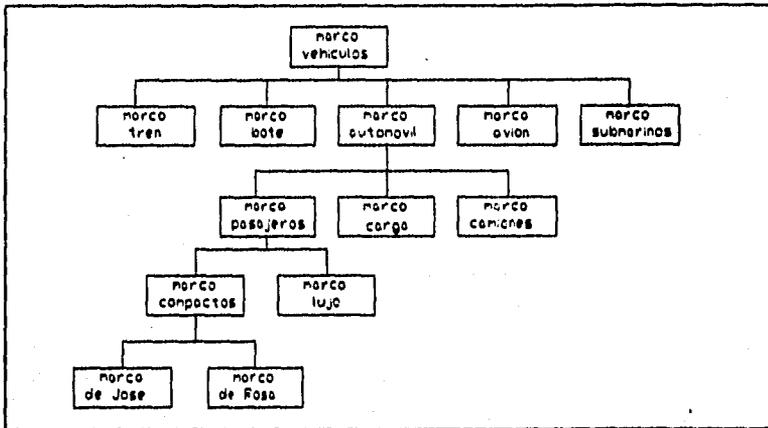


Figura 30. Jerarquía de marcos

Herencia de marcos

El arreglo jerárquico de los marcos permite la herencia. La raíz del árbol es el nivel mas alto en la abstracción. Los marcos de menor abstracción son llamados hojas del árbol. Cada marco usualmente hereda las características de todos los marcos relacionados de mayor nivel. Los

marcos padres proveen de una descripción de atributos mas general que sus hijos. Cuando describimos los objetos físicos instanciamos el marco hijo; Esto se muestra en la tabla siguiente:

Nombre: carro compacto		Nombre: carro de Rosa	instancia de: carro compacto
ranuras	Facetas	ranuras	Facetas
Dueño	Checar lista	Dueño	Rosa
Color	lista fabricante por	Color	Azul
numero cilindros de		numero cilindros de	6
rango	4,6,8		
si hace falta	preguntar		
fabricante		fabricante	Ford
rango	fabricantes		
si hace falta	preguntar		
año de compra		año de compra	1993
rango	1950-1994		
si hace falta	preguntar		

marco padre

marco hijo

Figura 31. Tabla de Herencia.

ESTA TESIS HA DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

iii) Representación del conocimiento múltiple.

Un solo método de representación del conocimiento no es aplicable a todos los casos (ver la tabla siguiente).

Método	Ventaja	Desventaja
Reglas de producción	Sintaxis simple, fácil de entender, fácil de interpretar, modular, flexible.	Difícil seguir jerarquías, ineficiente en sistemas grandes, no todo el conocimiento se puede representar.
Redes semánticas	Fácil de ver jerarquías y asociaciones.	Difícil de programar
marcos	Poder expresivo, fácil actualización de ranuras para nuevas propiedades y relaciones, creación de procedimientos especializados e inclusión de información por omisión y detección de valores que falten.	Difícil de programar, difícil para inferir, no existe "software" barato

Figura 32. Tabla de los diferentes métodos de representación del conocimiento.

Un método híbrido de representación del conocimiento conveniente es en el que se combinan las reglas de producción y los marcos (ver figura 33)

Por si mismas las reglas de producción no proveen en todos los casos una representación adecuada. En particular es inadecuado para describir los objetos del dominio y sus relaciones. Los marcos son excelentes para describir el dominio del problema. Además la jerarquía de marcos puede ser usada para particionar, indizar y

organizar un sistema de reglas de producción. Esta capacidad permite entender mas fácilmente las reglas y visualizar el propósito de un grupo de reglas.

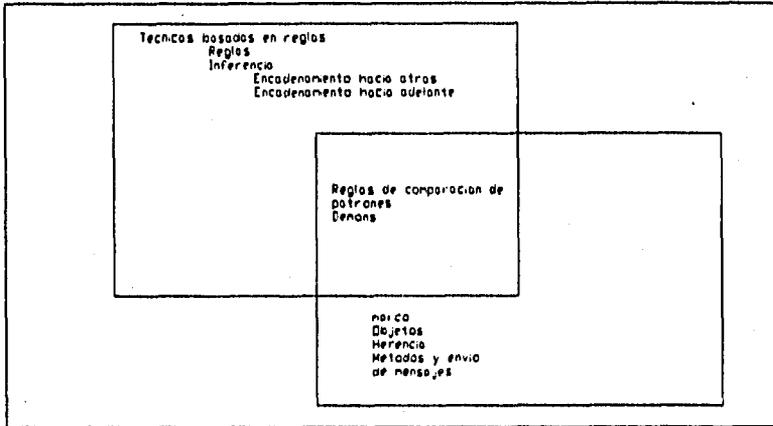


Figura 33. Combinación de reglas de producción y de marcos

3. Verificación y Validación

Verificación significa hacer bien el sistema, esto es, que implemente correctamente las especificaciones. Es el proceso de asegurarse que la Base de Conocimiento esta completa, sea consistente y que no tenga errores de sintaxis.

Validación es hacer el sistema correcto, esto es, escribir las especificaciones y checar el desempeño para asegurarse de que el sistema hace lo que se supone debe de hacer. Es el proceso de asegurarse de que el sistema cumple con los requerimientos y necesidades.

En un Sistema Experto típico primero se realiza la verificación y luego la validación, además de que se proponen casos de prueba al final de cada etapa del desarrollo del prototipo[12].

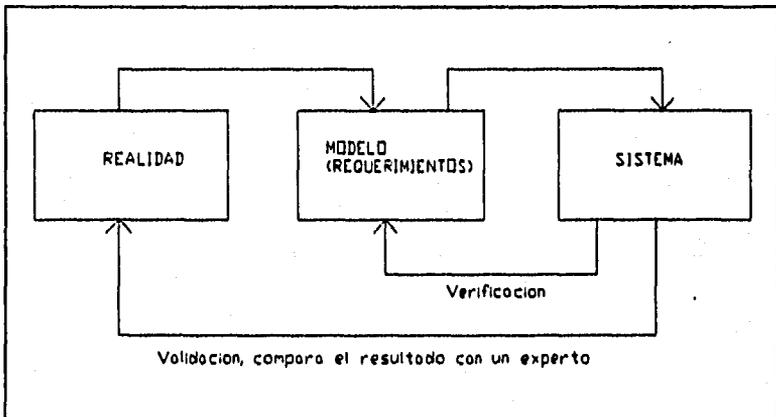


Figura 34. Verificación y validación.

4. Inferencia

Una vez que la base de conocimiento este lista necesitamos un programa de computadora que nos permita buscar en ella para realizar inferencias, decisiones y resolver problemas. A este algoritmo que controla el proceso de razonamiento usualmente es llamado maquina de inferencia.

La máquina de inferencia dirige la búsqueda en la base de conocimiento.

Razonamiento deductivo.- Es el proceso en que se usan premisas generales para obtener una inferencia especifica. Consta de tres partes: premisa principal, premisa secundaria y una conclusión.

Por ejemplo:

Premisa principal .- Todos los perros tienen cola.

Premisa secundaria.- cancan es un perro.

conclusión.- cancan tiene cola.

La idea principal es obtener conocimiento nuevo de conocimiento previo.

Razonamiento inductivo.- Usa un número establecido de hechos o premisas para llegar a una conclusión general.
Por ejemplo:

Premisa: diodos defectuosos causan fallas en el equipo electrónico.

Premisa: transistores defectuosos causan fallas en el equipo electrónico.

Premisa: circuitos integrados defectuosos causan fallas en el equipo electrónico

Conclusión: los semiconductores defectuosos causan fallas en el equipo electrónico.

Una cuestión interesante acerca del razonamiento inductivo es que llegar a una conclusión puede ser difícil o nunca será final o absoluta. La conclusión puede cambiar si se agrega un nuevo hecho. Siempre habrá alguna incertidumbre en la conclusión debido a que no en todos los casos es posible incluir todos los hechos. Entre mas hechos se tengan nuestra conclusión va a ser mas general.

Los enfoques deductivos e inductivos son usados en sistemas basados en reglas de producción y en los marcos.

Inferencia con reglas

La prueba de la premisa o conclusión de una regla puede ser tan fácil como comparar un patrón simbólico de una regla contra la base de hechos.

Cada premisa o conclusión puede ser comparada con las afirmaciones almacenadas. Este proceso puede tener dos direcciones: hacia adelante o hacia atrás.

Supongamos que usted esta en París y que quiere regresar a la ciudad de México por avión.

Su plan de vuelo lo puede hacer de dos maneras:

a) La primera investiga que vuelos salen desde París y cuales son sus destinos. En el destino de cada uno de estos vuelos vuelve a investigar cual es su destino. Puede seguir este proceso hasta que encuentre un vuelo que su destino sea la Ciudad de México. A este proceso se le llama encadenamiento hacia adelante o dirigido por datos.

b) La segunda investiga que vuelos llegan a la Ciudad de México y desde donde salen. Se repite el proceso con cada uno de estos vuelos investigando los vuelos que llegan a estos lugares hasta que se encuentre un vuelo que salga de París. A este proceso se le llama encadenamiento hacia atrás o dirigido por meta.

Vamos a detallar mas estos procesos.

Encadenamiento hacia atrás

En este proceso comenzamos con la meta y tratamos de verificar si ya esta contenida en la base de hechos, si no, se busca una regla que su conclusión sea la meta. Verifica si la premisa de la regla se encuentra en la base de hechos, si no, busco otra regla en que la premisa de la meta aparezca como conclusión de la otra regla y se ve si su premisa esta en la base de hechos y se sigue hasta que alguna sea verdadera (ver figura 35)

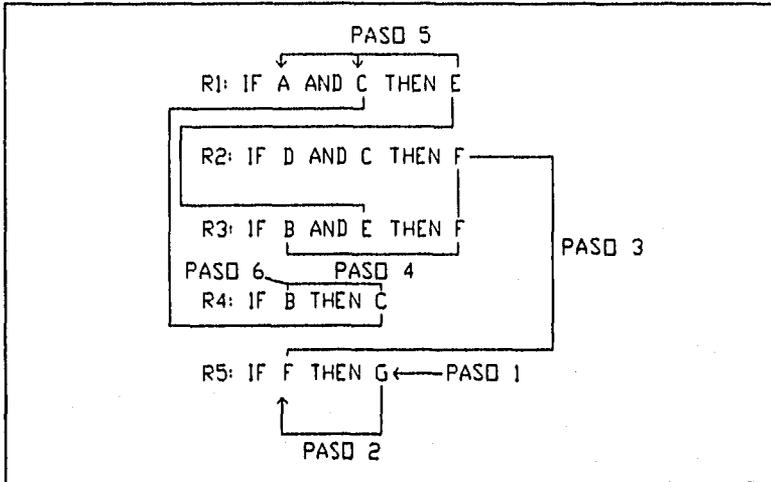


Figura 35. Encadenamiento hacia atrás.

En el ejemplo de la figura G es la meta A y B son hechos.

Al inicio se busca una regla que en su conclusión encontremos la meta.

Paso 1.- Se trata de aceptar o negar a G. Se busca en la base de hechos si G esta contenida. En este momento lo único que hay es A y B.

Paso 2.- En la regla 5 vemos que si F es cierta entonces G es cierta. Entonces concluimos que saber si F es cierta o falsa resuelve nuestro problema. Sin embargo no sabemos si F es cierta o falsa. Ahora vemos que F es conclusión de la regla 2 y de la regla 3. Si queremos saber si F es cierta o falsa debemos ver la regla 2 y la regla 3.

Paso 3.- Tratamos la regla 2. Si D y C son verdaderos, entonces F es verdadero. Ahora vemos que D no es posible obtenerla así que buscamos en la regla 3 (A este proceso se le llama "backtracking").

Paso 4.- Como B es un hecho necesitamos ver si E es cierta. Por lo que buscamos una regla en donde E sea la conclusión. Vemos que en la regla 1 E es la conclusión.

Paso 5.- Probamos la regla 1 vemos que A es un hecho y buscamos C que es desconocida. Repetimos el proceso y en la regla 4 esta C como conclusión.

Paso 6.- Como B es un hecho también C se vuelve un hecho y es agregado a la base de hechos.

Paso 7.- Como C es cierta entonces E es cierta y a su vez F es cierta por lo que G es cierta.

Encadenamiento hacia adelante

Es un enfoque dirigido por datos. Se comienza con hechos conocidos y se trata de llegar a nuevas conclusiones. La máquina de inferencia busca que los hechos ya conocidos se encuentren en la premisa de las reglas y si es así entonces la conclusión es verdadera (ver figura 36).

En el siguiente ejemplo se utilizan las mismas reglas que en el ejemplo de encadenamiento hacia atrás.

Inicio.- Vemos los hechos contenidos en la base de hechos. Como A y B son hechos ya conocidos buscamos en

que reglas aparecen como premisas. En este caso comenzaremos con A que se encuentra en la regla 1.

Paso 1.- La máquina de inferencia trata de verificar E. A es conocido pero C no es conocido. Se busca en la base de hechos pero C no está por lo que vamos a las reglas y nos damos cuenta que C está como conclusión de la regla 4.

Paso 2.- Se prueba la regla 4. Y resulta que C es verdadero por que la premisa B ya está en la base de hechos. Entonces C es agregado a la base de hechos.

Paso 3.- La regla 1 se dispara. y E es agregado a la base de hechos.

Paso 4.- Como B y E están en la base de hechos la regla 3 se dispara y F es agregada a la base de hechos.

Paso 5.- La regla 5 se dispara. Y se verifica la meta como verdadera.

Hemos visto que los sistemas de producción de premisa-conclusión se puede hacer el razonamiento ya sea hacia adelante o hacia atrás.

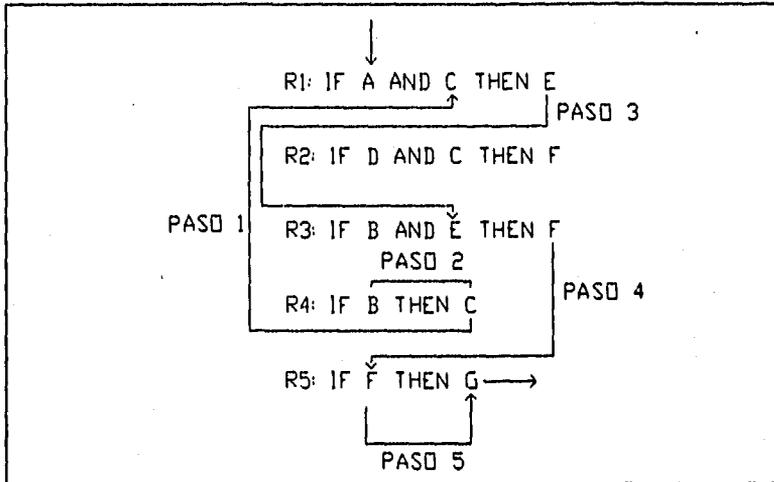


Figura 36. Encadenamiento hacia adelante.

Arbol de Inferencia

El árbol de inferencia provee una vista esquemática del proceso de inferencia. Las reglas tienen una premisa y una conclusión. Al hacer el árbol de inferencia los nodos representan las premisas y las conclusiones. Las ramas conectan la premisa y la conclusión. Los operadores AND y OR son usados para reflejar la estructura de las reglas.

Los árboles de inferencia ayudan a visualizar la estructura de las reglas.

ver figura 37 en donde se representa gráficamente el ejemplo de razonamiento con reglas. Aquí vemos claramente la relación de la diferentes reglas.

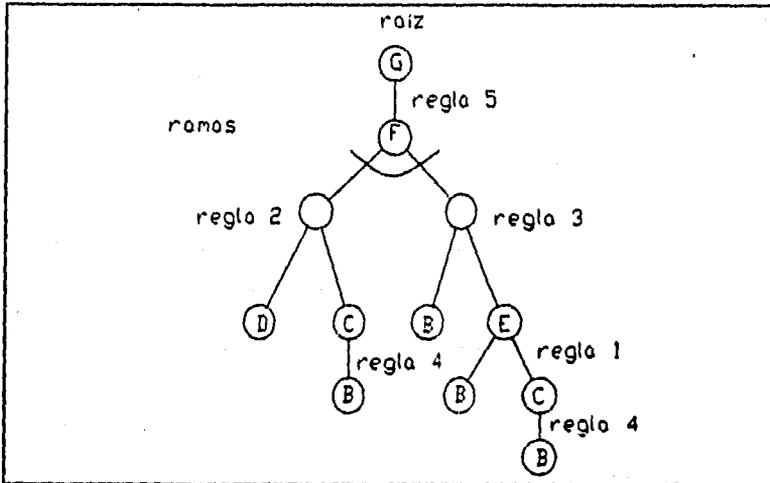


Figura 37. Arbol de inferencia.

El árbol de inferencia se construye poniendo como la raíz a la meta y las hojas son las premisas y conclusiones.

EL árbol de inferencia tiene otra ventaja por que provee una guía para la explicación del ¿POR QUE? y el ¿COMO?.

Inferencia con marcos

El razonamiento con marcos es mas complicado que razonar con reglas.

La ranura proporciona un mecanismo para el llamado razonamiento guiado por expectación (cosas que se esperan). Ranuras vacías (Expectaciones no confirmadas) pueden ser llenadas, sujetos a ciertas condiciones y con datos que confirman las expectativas y casi siempre solo envuelve el llenado de sus valores de ranura.

La manera mas simple de especificar valores es por omisión. Los valores por omisión pueden ser útiles para descubrir nuevos hechos, es decir, si yo especifico que un automóvil tiene puertas. Entonces puedo inferir si trabajo con el marco automóvil de que al menos tiene una puerta si se tiene o no evidencia de su existencia.

El razonamiento con marcos es esencialmente la búsqueda de la confirmación de varias expectativas. Existen dos formas de razonar con marcos: usando reglas y razonamiento jerárquico.

Usando reglas.- Una regla puede razonar acerca de las características de un marco refiriéndose a sus valores de ranura.

Por ejemplo:

Se quiere decidir si se pasa en un automóvil por un puente de madera que solo soporta 1000 kg de carga.

Regla 1 IF peso de mi Ford > 1000 Kg

THEN toma otro camino

Si el valor de la ranura peso del marco mi Ford es mayor que 1000 kg. entonces toma otro camino.

Las reglas también pueden ser usadas para procesar conocimiento en una taxonomía.

Por ejemplo:

A que estación de servicio debe pararse el conductor para recargar combustible.

Regla IF vehículo es miembro de automoviles

AND vehículo tiene motor

AND motor es miembro de Diesel

THEN recargar vehículo en servicio para camiones

En la primera línea se trata de instanciar con cualquier marco, pero solo los que sean miembros de la clase automóviles son tomados. En la segunda línea se asegura que el vehículo tenga motor. En la tercera se deshecha a los que no sean miembros de la clase Diesel. La cuarta línea asigna a la ranura recargar en servicio para camión.

Razonamiento jerárquico

De acuerdo con el razonamiento jerárquico ciertas alternativas, objetos o eventos pueden ser eliminados en varios niveles de la búsqueda en la jerarquía.

Por ejemplo:

Regla IF fabricante de vehículo es Ford

THEN vehículo no es miembro de Diesel

Asumimos que Ford no fabrica ningún automóvil que tenga motor que use Diesel. Una regla a este nivel puede eliminar un número de clases en la búsqueda[6].

5.- Explicación y Justificación

Los expertos humanos generalmente son cuestionados por su forma de ver las cosas, de sus recomendaciones y decisiones. Si los Sistemas Expertos tratan de imitar a los humanos en tareas especializadas, ellos también necesitan justificar y explicar sus acciones. La Interfaz Explicativa tiene los siguientes propósitos:

- Hacer el sistema mas claro para el usuario.
- Ayuda en la depuración de la Base de Conocimiento.
- Conduce el análisis de sensibilidad.

La Interfaz de Explicación en sistemas basados en reglas es asociado con el seguimiento de las reglas que se disparan durante la trayectoria de solución del problema.

Por la complejidad que puede tener la explicación la mayoría de los Sistemas Expertos solo implementan dos tipos de explicación el ¿POR QUE? (del ingles WHY?) y el ¿COMO? (del inglés HOW?). El ¿POR QUE? se refiere a que después de que el Sistema Experto le realiza una pregunta, el usuario puede realizar un ¿QUE? para saber por que el Sistema Experto le esta pidiendo cierta información. El ¿COMO? es dado por el usuario que quiere saber como se llevo a cierta conclusión.

I.3.6 APLICACIONES

Los tipos de sistemas expertos se pueden clasificar según su aplicación, las cuales pueden ser entre otras:

Interpretación: Explica los datos observados asignando un significado simbólico describiendo una situación. Por ejemplo: interpretación de señales, análisis de imágenes, comprensión de mensajes.

Predicción: Infieren las probables consecuencias de una situación dada. Por ejemplo: predicción del clima, del tráfico, de elecciones, la bolsa de valores.

Diagnóstico: Identifican la naturaleza y causas del mal funcionamiento de un sistema a partir de síntomas y fallas. Por ejemplo: diagnóstico médico, electrónico, mecánico y de software.

Diseño: Desarrollan configuraciones de varios objetos y sus relaciones y verifican que satisfagan restricciones. Por ejemplo: diseño de edificios, circuitos impresos, maquinaria, etc.

Planeación: Permiten diseñar estrategias interrelacionadas para lograr un objetivo utilizando ciertos recursos y sujetándose a ciertas restricciones. Por ejemplo: rutas de actividades, planeación de proyectos, financiera, comunicaciones.

Monitoreo: Analizan observaciones del comportamiento de un sistema para detectar posibles desviaciones de la norma y tomar medidas correctivas con anticipación. Por

ejemplo: monitoreo de plantas nucleares, de plantas de control de procesos industriales, de tráfico aéreo, etc.

Depuración: Prescriben los remedios para condiciones que no son normales en un sistema. Por ejemplo: depuración de programas de computadoras y detección de causas de fallas de equipo de toda índole.

Instrucción: Tutoriales que ayudan en el aprendizaje, haciendo un diagnóstico de la situación de cada alumno y proporciona, a cada quien, orientación e información en los puntos mas débiles del conocimiento del alumno, proponiendo un plan para la optimización de su aprendizaje.

Control: Cumple un objetivo dado a través de interpretar la situación actual compara ésta con la norma, si detecta desviaciones formulan el plan de corrección y monitorean su ejecución. Por ejemplo: en control de procesos industriales[6].

I.4 REFERENCIAS CAPITULO I

- [1] Chesmond C.J.; "Advanced Control System Technology"; Edward Arnold; Inglaterra; 1991; segunda edición.
- [2] Dorf Richard C.; "Modern Control Systems"; Addison Wesley; E.U.A.; 1992; sexta edición.
- [3] Leigh J.R.; "applied control THEORY"; Redwood Burn Ltd; Inglaterra; segunda edición.
- [4] Moore J.A. & Herb S.M.; "Understanding Distributed Process Control"; Instrument Society of America; E.U.A. 1990; segunda edición.
- [5] "Características y Evaluación en un Sistema de Control Distribuido Digital"; Sociedad de Instrumentistas de America; Region Latinoamericana; 1992, sin edición.
- [6] Turban Efraim; "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence"; Macmillan Publishing Company; E.U.A.; 1992; sin edición.
- [7] Harmon Paul, King David; "Artificial Inteligence in Business"; Wiley Press; E.U.A.; 1986; primera edición.
- [8] Badira Adedeji, Bounde; "Expert Systems applications in engineering and manufacturing"; Prentice Hall; New Jersey; 1992; sin edición.

[9] Sanchez y Beltran, Juan Pablo; "Sistemas Expertos, una metodología de programación"; Macrobit; México; 1990; sin edición.

[10] Shinsky F. G.; "Process-Control Systems"; McGraw Hill; E.U.A.; 1987; segunda edición.

[11] Johnson Curtis P.; "Process Control Instrumentation Technology"; John Wiley & sons; E.U.A.; 1982; segunda edición.

[12] Jackson, Peter.; "Introduction to Expert Systems"; Addison Wesley Publishing Company; E.U.A.; 1990; segunda edición.

[13] Lukas Michael; "Distributed Control Systems"; Van Nostrand Reinhold Company; E.U.A.; 1986; primera edición.

[14] Balchen Jens G, Nummé Kenneth; "Process Control, structures and applications"; Van Nostrand Reinhold; E.U.A.; 1988.

[15] Doyle, John C; "Feedback control theory"; Maxwell Macmillan; New York; 1991; primera edición.

II DEFINICION
DEL PROBLEMA

II. DEFINICION DEL PROBLEMA

II.1. INTRODUCCION

En el presente capítulo se define y analiza el problema de evaluar y seleccionar un Sistema de Control Distribuido (SCD).

El capítulo está dividido en tres partes principales, la primera define el problema. La segunda parte está enfocada en el análisis de un SCD, es decir, como está formado y como puede dividirse.

En la tercera y última parte, se realiza el planteamiento del problema, analizando varias soluciones posibles, sus ventajas y desventajas, para finalmente explicar detalladamente la solución propuesta.

II.2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Para la implantación de un nuevo SCD en una planta, se realiza un análisis de requerimientos que dan como resultado una especificación del equipo para el control del proceso. Posteriormente, tomando como base dicha especificación, es necesario hacer un concurso entre los proveedores de SCD con el propósito de elegir el que mejor cumpla con los requerimientos. Lo anterior genera un problema que es evaluar y seleccionar un Sistema de Control Distribuido adecuado para dicha planta.

II.3. ANALISIS DEL PROBLEMA

Para evaluar y seleccionar un SCD normalmente se llevan a cabo los pasos siguientes:

a) El primer paso es definir una especificación. Una especificación contiene la descripción ordenada de los requerimientos que deberán suministrar los proveedores de SCD. La característica más importante de la especificación es que describe el equipo necesario para el buen funcionamiento de una planta y los valores que se requieren, por ejemplo, para un teclado, sería el número de teclas programables con que cuenta, luces indicadoras de estados.

b) Una vez que se tiene la especificación, el paso siguiente es convocar a un concurso a los diferentes proveedores (mínimo 3), de SCD proporcionándoles dicha especificación.

c) Posteriormente, cada una de las propuestas es verificada, es decir, para cada subsistema se revisa si el proveedor esta entregando lo que se solicito de acuerdo a la especificación y en caso de no cumplir con algún punto, se genera un reporte con las fallas que se entrega al proveedor. El objetivo de la verificación es que el proveedor que no cumpla con la especificación pueda volver a mandar su propuesta corregida para concursar o se retire del concurso.

d) El siguiente paso es evaluar las propuestas hechas por los proveedores de SCD. La evaluación del SCD además de técnica, contempla la calidad del servicio proporcionado por el proveedor (garantías del equipo, soporte técnico, capacitación), la conectividad del SCD (externa e interna) y de la computadora de proceso. Para conjuntar la parte técnica, de servicios, conectividad y computadora de proceso vamos a definir un sistema mas general que le vamos a llamar Sistema de Oferta (SO).

e) La etapa siguiente es evaluar cada una de las propuestas y seleccionar aquella que mejor cumpla con la especificación y con los criterios de selección definidos por los expertos.

f) Finalmente, una vez seleccionado un SO es necesario justificar mediante un reporte los resultados.

Para poder evaluar y seleccionar un sistema de Oferta, tenemos que analizar el sistema apoyandonos en la teoría de sistemas, con el fin de dividirlo en sus partes principales.

La organización de un sistema es considerada como una integración compleja de partes independientes capaces de interactuar correctamente una con otra y con su medio ambiente. Cada subsistema tiene que interactuar con los demás de manera que satisfagan un objetivo común, en este caso el control de un proceso de una manera eficiente y segura[2].

Se propone una estructura para el SO, la cual se basa en su análisis y contempla cuatro subsistemas principales que son: de arquitectura de automatización, de computadora de proceso, de servicios y de SCD. En la figura 38 vemos la estructura del SO.

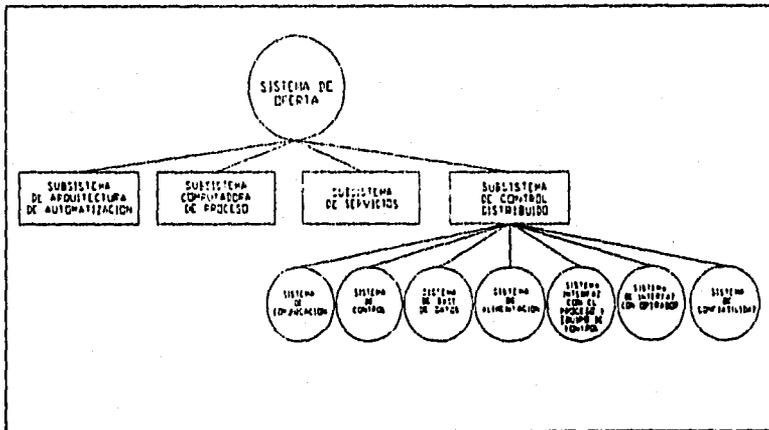


Figura 38. Estructura del Sistema de Oferta (Ver anexo A)

La división del SO en subsistemas sucesivos hasta llegar a sus componentes elementales nos permite evaluar las propuestas detalladamente.

El problema de seleccionar un SO lo podemos resumir en los siguientes incisos:

a) Entradas del sistema:

- Especificación de los requerimientos de equipo para la planta.
- Propuestas realizadas con base en la especificación por parte de proveedores.

b) Verificación y Evaluación de propuestas. Se aplican criterios de evaluación a las diferentes propuestas.

c) Selección del sistema: A partir del resultado obtenido por cada proveedor en la evaluación, se aplican a las propuestas los criterios de selección definidos por expertos , eligiendo una propuesta.

d) Justificación: Detalla los puntos por los cuales una propuesta es elegida o descalificada.

e) Salidas del sistema: Reporte de Verificación, Reporte de Evaluación, Reporte de Selección.

El proceso de evaluar y seleccionar un SO se observa en la figura 39.

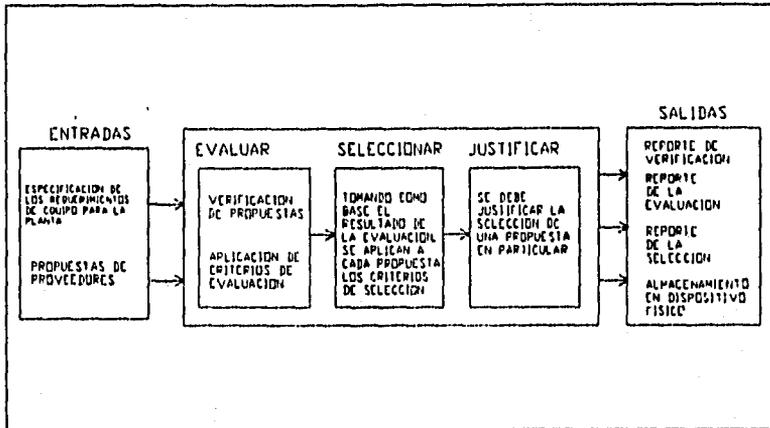


Figura 39. Diagrama de bloques para seleccionar un Sistema de Oferta.

II.4 PLANTEAMIENTO

En el análisis del problema, definimos los pasos que se tienen que seguir para evaluar y seleccionar un Sistema de Oferta (SO), ahora partiendo del diagrama de bloques mostrado en la figura 40, se describen algunas formas de solución señalando sus ventajas y desventajas.

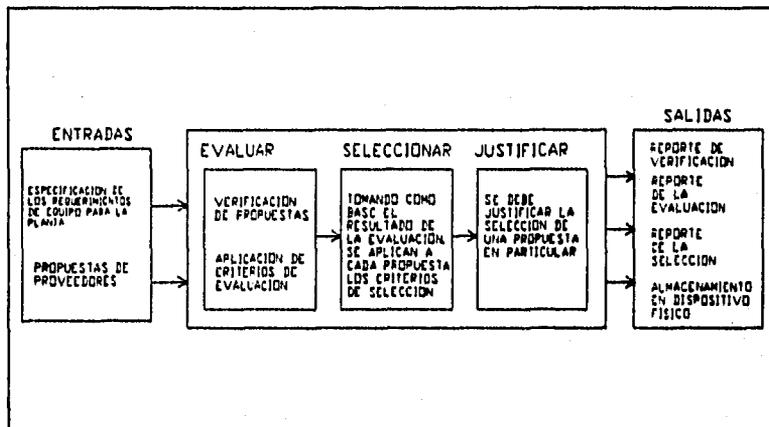


Figura 40. Diagrama de bloques del proceso de evaluación y selección de un Sistema de Oferta

a) Una primera opción de solución es que una persona especializada (en todas las disciplinas que involucra un SO) evalúe todas las propuestas seleccionando una de ellas. Aunque su selección fuese la correcta, el proceso sería muy lento considerando que la información contenida en las propuestas es muy extensa.

b) Una segunda opción es la de reunir a varios especialistas. Cada especialista evalúa una parte del sistema, para después combinar sus características más importantes para la selección de la mejor configuración para la planta. En comparación con la primera opción, ésta es más rápida, sin embargo continuaría siendo lento el proceso de evaluación porque se necesitarían varias reuniones, además del tiempo para elaborar un reporte con la justificación de las decisiones hechas por los especialistas.

c) Como una tercera alternativa, se propone un programa en computadora como herramienta de ayuda, esto es, que pueda almacenar las características técnicas y de servicios de las diferentes propuestas, para cuantificar mediante un algoritmo los datos entregados por los proveedores; elaborando un reporte que califique en qué medida se cumple con los requerimientos. Una vez impreso el reporte, los especialistas pueden realizar la evaluación ahorrando tiempo al tener un resumen de los requerimientos para posteriormente decidir cuál es la propuesta elegida de acuerdo a la evaluación y su propia experiencia.

Esta opción tiene ventajas sobre las dos anteriores debido a que es más rápida y permite iniciar la selección a partir de un reporte de evaluación, sin embargo, el programa es fijo lo que significa que actualizar o modificar no es sencillo. Por otro lado aún existe el problema de reunir a todos los especialistas en un mismo lugar y por varios días para la selección de una propuesta, así como el de elaborar una documentación en donde se justifique la decisión tomada.

d) Otra herramienta de ayuda para solucionar el problema es un Sistema Experto, ya que por sus características permite representar mediante reglas el conocimiento y la experiencia de los especialistas, esto es, representar los criterios de selección de los expertos así como combinar el manejo de grandes volúmenes de información, a través del uso de bases de datos.

El Sistema Experto tiene ventajas que ninguna de las soluciones anteriores tiene:

- Mayor disponibilidad porque no necesariamente tienen que reunirse los especialistas en un mismo tiempo.
- El Sistema Experto es flexible ya que de acuerdo a nuevos conocimientos aportados por los expertos, la base de conocimiento puede crecer o modificarse.
- Por lo que respecta a la etapa de justificación, un Sistema Experto permite que se le cuestione, cuando el sistema da una conclusión nos puede mostrar con base a qué criterios obtuvo una cierta conclusión.
- El Sistema Experto permite que los expertos puedan consultar por separado la justificación del proceso de evaluar y seleccionar a un SO. Con las justificaciones se puede refinar el conocimiento del Sistema Experto, así como ofrecer la oportunidad a los expertos de realimentar su propio conocimiento.

Comparando las diferentes soluciones y por el tipo de problema en el que interviene el conocimiento de expertos proponemos utilizar un Sistema Experto.

En la figura 41 se muestran los diferentes módulos que integrarían al Sistema Experto :

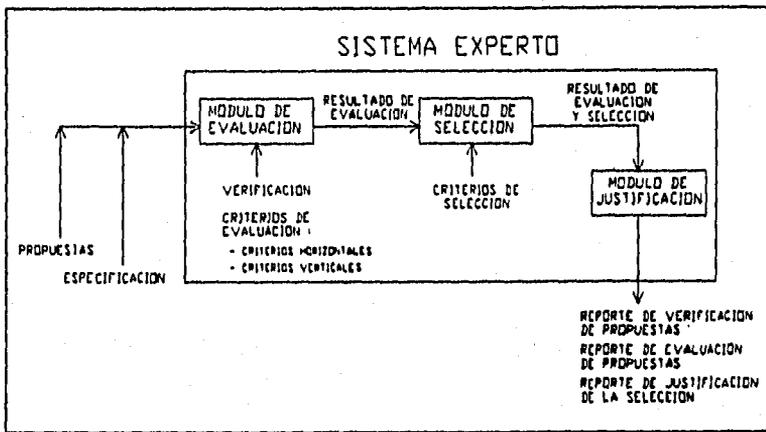


Figura 41. Sistema Experto para evaluación y selección de un SO.

Módulos principales del Sistema Experto

Módulo de Evaluación:

Esté módulo tiene como objetivo determinar si las características del equipo propuesto por los proveedores cumple con la especificación. Para ello realiza una verificación de propuestas que consiste en revisar que el proveedor cumpla con la especificación. Las entradas de este módulo son: la especificación y las propuestas (capturadas previamente). Para realizar el proceso de evaluación se aplicarán criterios de evaluación. Los criterios de evaluación son las características de un objeto en particular y que de acuerdo a los valores asignados podemos determinar si cumple con los requerimientos deseados. Los criterios de evaluación se dividen en: verticales y horizontales. Los criterios verticales son las características más importantes del objeto. Por ejemplo, en un monitor: tamaño de la diagonal principal, tipo, pantalla sensible al tacto. Los criterios horizontales son sus valores. Por ejemplo, para el mismo monitor, sus valores son: tamaño = 19 pulgadas, tipo = color ó monocromático, pantalla sensible al tacto = SI/NO.

El resultado de la evaluación se muestra en un reporte en forma de tablas de decisión para cada subsistema y uno final para todo el sistema de oferta.

Módulo de Selección:

El objetivo del módulo es elegir una de las propuestas aplicando criterios de selección y el resultado de la

evaluación. Se elegirán a las propuestas que mejor cumplan con los criterios de selección o no especificables ya que dependen de la experiencia y juicio del experto. Los criterios de selección se aplican a aquellas propuestas que se encuentren sobre el umbral definido en la evaluación.

Módulo de Justificación:

La función módulo de justificación es mostrar mediante reportes el resultado de la selección de una propuesta o en su caso de su descalificación.

Recapitulando el Sistema Experto se encargaría de evaluar a todas y cada una de las propuestas, además de seleccionar alguna y justificar sus acciones mediante reportes impresos.

II.5. METODOLOGIA DE EVALUACION PARA SELECCIONAR SCD

1. Elementos que constituyen al sistema

El Sistema de Oferta está definido por una especificación técnica en donde se describen los requerimientos solicitados para cada subsistema. Tomando como base la especificación, se elabora un cuestionario que se entrega (mediante disco magnético) al proveedor. Cada proveedor responderá el cuestionario y lo devolverá para ser alimentado al Sistema Experto.

Las diferentes propuestas serán una entrada al sistema junto con la especificación. Cada propuesta será evaluada aplicando criterios horizontales y verticales.

2. Evaluación

La evaluación de propuestas consiste en aplicar los criterios de calificación a cada elemento requerido en la especificación. Una especificación es un "traje hecho a la medida" del proceso, y por lo tanto el proveedor debe adaptarse lo mejor posible a la especificación, en caso de que en algún punto ofrezca mayor capacidad o calidad que los requeridos, estos se reflejarán en los costos y no será adecuado.

Criterios verticales: Para cada subsistema del Sistema de Oferta se definen las características principales y los valores solicitados.

Criterios horizontales: Dentro de cada subsistema tenemos diferentes características a evaluar, a cada una de ellas se le asigna un peso, una calificación o una palabra

indicadora definida por el experto. Algunos de los criterios son:

- **Binarios:** En este tipo de características, el proveedor solo tiene que marcar si cumple o no con la característica, en este caso se asignan dos pesos diferentes de acuerdo a la respuesta.
- **Mínimo:** Para este caso, se solicita un valor, por ejemplo, velocidad del CPU. Si el valor es igual al solicitado se le asigna un peso, si el valor es diferente ya sea mayor o menor se le asignará un peso positivo o negativo dependiendo de qué tanto se aleje del valor solicitado.
- **Alternativos:** El proveedor puede elegir entre una o mas opciones para una característica solicitada, el peso asignado a esa característica depende del número de opciones que se marquen y cuales son las mínimas solicitadas y si cumple con alguna adicional.
- **Opción múltiple:** Se presentan varios valores a elegir, pero solo se puede elegir uno de ellos, se califica de acuerdo a la opción marcada.
- **Tipo dato :** En algunas características se solicita el nombre o el modelo como un dato. No tiene un peso asignado directamente. La información se utiliza en la selección ya que de acuerdo al desempeño observado en otros equipos ayuda al experto en su selección.

La evaluación se realiza por subsistema y sistema. Por ejemplo, para el sistema de control tenemos tres puntos principales a evaluar: tarjetas de control, redundancia en las tarjetas y su software. Cada punto se desglosa en sus características y sus valores (ver figura 42).

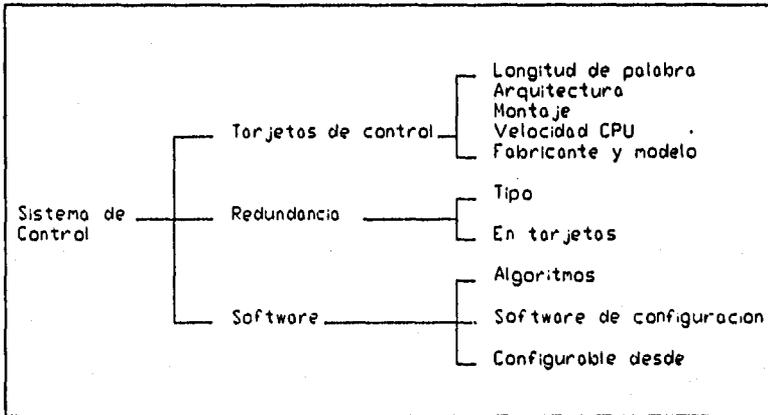


Figura 42. Sistema de Control

A cada característica se le califica con los criterios de evaluación (reglas definidas por los expertos) de acuerdo a los valores proporcionados en la propuesta y son almacenados en una tabla que forma la matriz de decisión del sistema de control.

Se realiza el mismo procedimiento para cada propuesta. La matriz de decisión contiene todos los pesos asignados y se utilizará posteriormente en el módulo de selección (ver figura 43).

Tabla 1. Sistema de Control				
Elemento	Especificación	P1	P2	P3
Tarjetas control	de Longitud palabra: 32 bits			
	Arquitectura : RISC			
	Montaje : ranuras			
	Velocidad CPU : 100MHz			
	Fabricante/modelo : Intel 80276			
Redundancia	En línea : si			
	En tarjetas : si			
Software	Algoritmos: PID, Multivariable, Control lógico secuencial			
	Se configura desde: Teclado operador/ingeniero, Computadora de proceso, Computadora portátil			
	Incluye software de configuración: si			
Totales	10.0			

Figura 43. Matriz de decisión del Sistema de Control.

Una vez que se evalúan todos los sistemas y subsistemas se vacían los resultados por subsistema en una matriz que comprende a todo el Sistema de Oferta.

A cada subsistema se le asigna un porcentaje definido por los expertos. El porcentaje representa la importancia del sistema. Los porcentajes se desglosan dentro de la jerarquía definida (anexo A) y la tabla final es normalizada [3].

Todas las tablas son utilizadas posteriormente para la selección final. Los resultados son presentados al usuario mediante reportes: Reporte de la evaluación y de la selección. Ver figura 44.

Tabla 11.		Sistema de Oferta	
Elemento	Especificación	Porcentaje por subsistema:	
Subsistema de arquitectura de automatización	de Conexiones de funcionales internas	15%	11%
	Conexiones funcionales externas		4%
Subsistema de Computadora de proceso		10%	10%
Subsistema de servicios		20%	20%
Sistema de Control Distribuido	Sistema de Comunicación	55%	20%
	Sistema de control		15%
	Sistema de base de datos		8%
	Sistema de alimentación		18%
	Sistema de interfaz con el proceso y equipo de control		12%
	Sistema interfaz con el operador		17%
	Sistema de Confiabilidad		5%

Figura 44. Matriz de decisión del Sistema de Oferta

II.6 REFERENCIAS CAPITULO II

[1] Leigh J.R.; "applied control THEORY"; Redwood Burn Ltd; Inglaterra; segunda edición.

[2] Gigch van, John P. ; "Teoria General de Sistemas Aplicada" ; Trillas; México; 1981; primera edición.

[3] Les, Kane.; "Selecting a distributed control system"; Hydrocarbon Processing; February 1990.

III. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

CAPITULO III DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

III.1 INTRODUCCION

Los avances de los sistemas expertos y de la tecnología de computadoras, han permitido incrementar su aplicación en el campo de la ingeniería.

La década de los ochentas es recordada como la década del microprocesador en el control de procesos, ya que la mayoría de los proyectos incluían SCD's basados en microprocesadores, PLC's y algunos transmisores inteligentes. La década de los noventas es denominada de los sistemas expertos en el control de procesos[1].

Los sistemas expertos se aplican al control para resolver diferentes problemas y procesar la gran cantidad de información generada por el proceso. Algunos ejemplos de su aplicación en control son:

- Con respecto a la seguridad, puede ser utilizado para dar aviso sobre como tratar situaciones peligrosas.
- En reactores nucleares el conocimiento sobre todos los componentes de la planta, sus fallas y las posibles causas está representado mediante marcos y reglas. También se puede apoyar en representaciones gráficas de los elementos de la planta.
- Realiza operaciones de análisis y diagnóstico. Tiene procedimientos que actualizan valores en la consola del operador, verifica eventos, sus efectos e implicaciones, permitiendo el control del reactor.

- Un beneficio de su uso en el control es que el arranque y el paro de operación de la planta se manejan de una manera más sencilla.
- También el control avanzado y de optimización puede ser manejado por un sistema experto. A los operadores les agrada este enfoque mas que el uso de algoritmos complejos porque las recomendaciones están dadas en su lenguaje nativo.

Quizás las aplicaciones más importantes de los sistemas expertos en el control no son difundidas totalmente ya que revelar los detalles de un sistema experto es revelar el funcionamiento interno de los procesos propietarios y de los expertos altamente calificados[1].

III.2 CICLO DE VIDA DEL SISTEMA

De acuerdo a la metodología propuesta en el libro de Efraim Turban [2] para el desarrollo de Sistemas Expertos, se sugiere tres pasos principales que son: inicio del proyecto, diseño del Sistema Experto y desarrollo del prototipo. Cada paso está conformado a su vez por varios pasos intermedios, los cuales se retroalimentan por niveles formando el ciclo de vida del Sistema Experto(Figura 45).

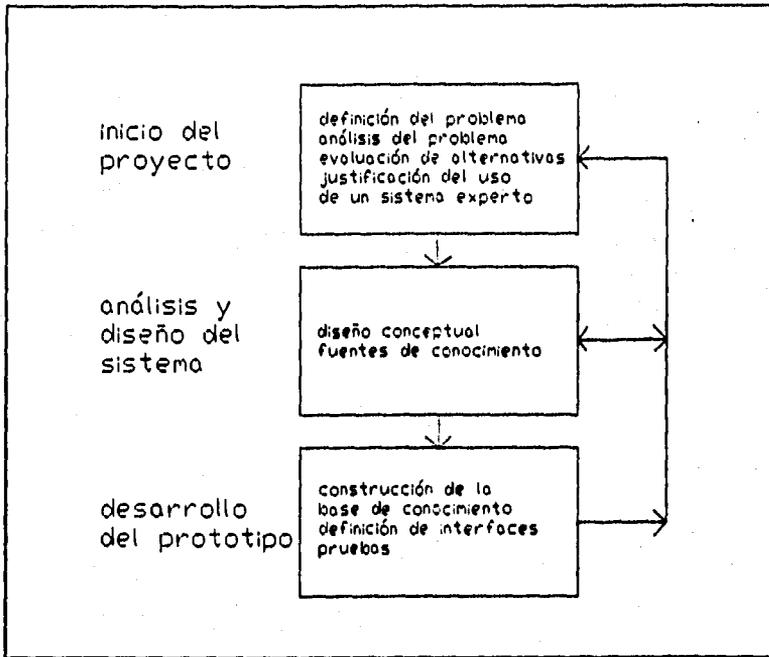


Figura 45. Ciclo de vida del Sistema Experto.

III.3 INICIO DEL PROYECTO

El inicio del proyecto está constituido por: definición del problema, análisis del problema, evaluación de alternativas y justificación del uso del sistema experto en la solución del problema que fué desarrollado en el capítulo II (ver páginas 99-117).

III.4 DISEÑO DEL SISTEMA

Diseño conceptual

Es en donde se describen los módulos que forman al Sistema Experto, la relación que tienen entre sí y las interfaces con otros sistemas (ver capítulo II páginas 108-110). En la figura 46 se muestran los módulos que conforman al Sistema Experto.

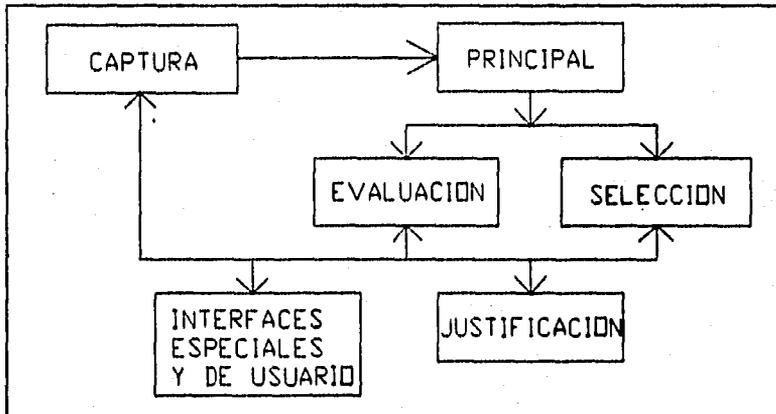


Figura 46. Módulos del Sistema Experto

Cada módulo se implantará individualmente y la comunicación entre módulos se realizará por medio de interfaces especiales (bases de datos). A continuación tenemos la descripción de los módulos.

- El módulo de captura contiene las pantallas para ingresar los datos de las propuestas de los proveedores y se graba la información en una base de datos. La jerarquía de las pantallas de captura son acordes a los diagramas del anexo A que muestran la división del Sistema de Oferta.
- El módulo principal sirve como menú para entrar a los módulos de evaluación, de selección y de justificación.
- El módulo de evaluación, es la primera de dos partes expertas del sistema. Está formado por las reglas de evaluación proporcionadas por los expertos y la especificación también diseñada por ellos. Cada una de las propuestas es evaluada en este módulo y su calificación es almacenada en la tabla correspondiente. Los puntos que la propuesta no cumple se almacenan en la tabla de fallas, para después ser utilizada por el módulo de justificación.
- El módulo de selección, es la segunda parte experta del sistema y toma como entrada los resultados del módulo de evaluación. A continuación mediante reglas de selección determinadas por los expertos, se elige a la propuesta mas adecuada.
- El módulo de justificación tiene tres funciones principales: el reporte de verificación, el reporte de la evaluación y el reporte de selección. Para estos reportes se utilizó un programa externo para su realización debido a las pocas posibilidades para hacer reportes del "shell".

- Módulo de interfaces especiales: para el manejo de los datos recabados por cada uno de los subsistemas, se utilizó una base de datos. Para hacer la base de datos se desarrolló un modelo Entidad Relación (ER) de los datos (apegado a los diagramas del anexo A), a partir del modelo ER se diseñó un modelo relacional de los datos y se definieron las tablas correspondientes. El sistema cuenta con 11 tablas las cuales son consultadas en el proceso de selección y evaluación (Figura 47 y Figura 48).

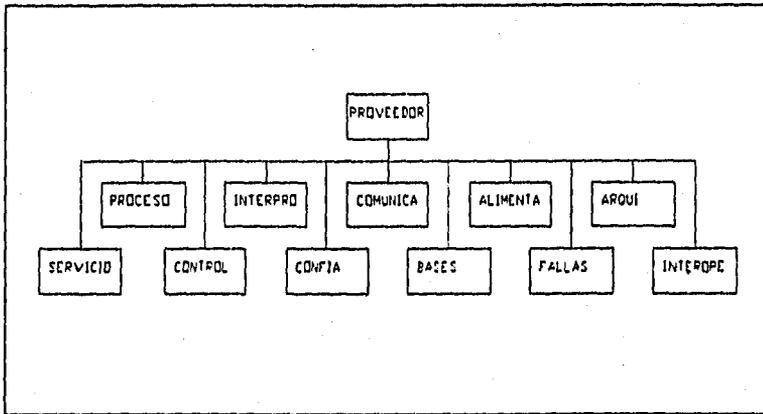


Figura 47. Modelo Entidad Relación de los datos

NOMBRE DE LA TABLA	DESCRIPCION
SERVICIO	LOS SERVICIOS QUE BRINDA LA COMPAÑIA (DIAGRAMA 3, ANEXO A)
PROCESO	COMPUTADORA DE PROCESO (DIAGRAMA 2 Y 2.1, ANEXO A)
CONTROL	SUBSISTEMA DE CONTROL (DIAGRAMA 6, ANEXO A)
INTERPRO	INTERFAZ CON EL PROCESO (DIAGRAMA 9, ANEXO A)
CONFA	CONFIABILIDAD DE LA COMPAÑIA Y EL SCD (DIAGRAMA 11, ANEXO A)
COMUNICA	SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES (DIAGRAMA 5, ANEXO A)
BASES	SUBSISTEMA DE BASES DE DATOS (DIAGRAMA 7, ANEXO A)
ALIMENTA	SUBSISTEMA DE ALIMENTACION DE ENERGIA (DIAGRAMA 8, ANEXO A)
ARQUI	ARQUITECTURA DE AUTOMATIZACION (DIAGRAMA 1, ANEXO A)
INTEROPE	INTERFAZ CON EL OPERADOR (DIAGRAMA 10 Y 10.1, ANEXO A)
FALLAS	PUNTOS QUE NO CUMPLE LA PROPUESTA (VER REPORTE PAGINA 137)

Figura 48. Descripción de las tablas.

- Módulo de interfaz con el usuario: está diseñado de manera que el usuario pueda manejar varios menús. También cuenta con la facilidad de que desde cualquiera de ellos se puede abandonar el sistema salvando la información. Cada pantalla que se utiliza tiene una forma y distribución consistente, así como un título que indica en que parte del sistema se encuentra el usuario (Figura 49).

MODULO 4 : SUBSISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO
SISTEMA DE CONTROL
TARJETAS DE CONTROL

LONGITUD PALABRA DE CPU <input type="radio"/> L 16 BITS <input checked="" type="radio"/> L 32 BITS <input type="radio"/> L 64 BITS	ARQUITECTURA <input type="radio"/> RISC <input checked="" type="radio"/> CISC	MONTAJE <input checked="" type="radio"/> RANURAS <input type="radio"/> ESPECIAL
VELOCIDAD DEL CPU	33	
FABRICANTE MODELO	INTEL 80376	

ALTERNATIVO 1 ALTERNATIVO 2 ALTERNATIVO 3

Figura 49. Ejemplo de una pantalla de captura.

III.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Construcción de la base de conocimiento

Para el desarrollo de la Base de Conocimiento del Sistema Experto vamos a utilizar el método propuesto en el capítulo I (pag. 50).

Método de Ingeniería del Conocimiento

1.- Adquisición del Conocimiento

a) Identificación.- En esta etapa se contactó con los expertos para definir la agenda de reuniones con el ingeniero del conocimiento. El número de expertos se fijó en tres para tener puntos de vista diferentes debido a la dificultad y amplitud del dominio. Previamente se estudió el dominio del problema para manejar sus términos y el lenguaje utilizado por los expertos. Para ello asistimos a exposiciones de equipo de control, un curso de introducción a SCD, visita al Instituto del Petróleo en donde se prueba el equipo de control, consultas de revistas especializadas y una revisión bibliográfica.

b) Conceptualización.- Durante la etapa de análisis y planeación del sistema los expertos se percataron de la amplitud del dominio, y se decidió la división del Sistema de Oferta en subsistemas (anexo A). Para su representación se realizaron diagramas por subsistema, que representan las características más importantes.

c) Formalización.- La metodología para la adquisición del conocimiento es la siguiente:

Se inició con el experto primario. En el transcurso de las reuniones se planeó que la adquisición de conocimiento se realizaría con múltiples expertos (experto primario y expertos secundarios) y aplicando la técnica manual de entrevista tanto estructurada como no estructurada.

En la realización de las entrevistas se tomaron en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La duración de la entrevista no debe ser muy extensa, es mejor que sean varias entrevistas breves. Realizamos varias visitas a los expertos secundarios y un gran número con el experto primario.
- Grabar de ser posible la entrevista.
- Documentar lo mas pronto posible la información recabada para una mejor clasificación

d) Implantación.- Por lo que respecta al "hardware" se buscó que el sistema fuera portable, esto es, que no requiriera de una inversión costosa en equipo de cómputo. Los requerimientos están determinados en gran parte por el "software". El "software" es orientado al ambiente "windows" por el gran número de usuarios y los bajos requerimientos de "hardware" (una computadora personal basada en el microprocesador 80386 de Intel) y a Level 5

Object como ambiente de desarrollo del Sistema Experto (ver anexo B).

2.- Representación del Conocimiento

Ya que la adquisición y la representación del conocimiento se traslapan, decidimos explicar la implantación en la etapa de representación.

Para organizar el conocimiento se utilizó la técnica de representación del análisis Objeto-Atributo-Valor (OAV). Esta técnica nos ayuda a entender el dominio durante la adquisición del conocimiento; ya que es posible modelar al sistema mediante una jerarquía. Cada diagrama OAV es el resultado de intenso trabajo entre el experto primario y los ingenieros del conocimiento. En ellos se representan los objetos y sus atributos. Los valores son asignados a partir de la especificación y de las propuestas (ver anexo A).

Para la codificación del conocimiento es fácil traducir los diagramas de OAV a marcos, porque el objeto pasa como el marco, sus atributos se traducen en las ranuras y los valores se convierten en facetas.

En la codificación del conocimiento se combinaron los marcos y las reglas de producción (por la ventaja que ofrece, ver capítulo 1, página 79).

En la figura 50, se detalla la representación del marco "LCONTROL", en donde podemos observar qué ranuras lo conforman y sus facetas.

Nombre: LCONTROL		Nombre: LCONTROL	instancia de: LCONTROL
ranuras	Facetas	ranuras	Facetas
PALABRA	chechar lista	PALABRA	16
rango	16, 32, 64		
TECRISC	chechar lista	TECRISC	verdadero
rango	falso, verdadero		
TECCISC		TECCISC	falso
rango	falso, verdadero		
TMONTAJE	chechar lista	TMONTAJE	ranuras
rango	ranuras, especiales		
TVELOCIDADCPU	preguntar	TVELOCIDADCPU	100 MHz
TFABRICANTE	preguntar	TFABRICANTE	Siemens
TSOFTWARECONF		TSOFTWARE	verdadero
rango	falso, verdadero		
TALGORITPID		TALGORITPID	verdadero
rango	falso, verdadero		
TCONTROLOGICO		TCONTROLOGICO	verdadero
rango	falso, verdadero		
TMULTIVAR		TMULTIVAR	verdadero
rango	falso, verdadero		

Figura 50. Ejemplo del Marco "LCONTROL"

TCONFCOMPUTADORA		TCONFCOMPUTADORA	verdadero
rango	falso, verdadero		
TCONFPORATIL		TCONFPORATIL	verdadero
rango	falso, verdadero		
TCONTECLADO		TCONTECLADO	verdadero
rango	falso, verdadero		
TREDUNDANCIA EN TARJETA		TREDUNDANCIA EN TARJETA	verdadero
rango	falso, verdadero		
TIPOLINEA		TIPOLINEA	verdadero
rango	falso, verdadero		
TIPODUPLICADA		TIPODUPLICADA	verdadero
rango	falso, verdadero		

Figura 50. Continuación página anterior.

3.-Verificación y Validación

Durante la codificación de los marcos y reglas se hizo una verificación implícita dado que el "shell" Level5 Object no permite utilizar nombres de objetos que no estén previamente definidos, por lo que es mas difícil introducir errores de sintáxis en la base de conocimiento. Por otro lado, se verificó que las pantallas del módulo de captura fueran consistentes con los diagramas del anexo A y los valores almacenados en la base de datos fueran los correctos.

El resultado de la evaluación y su reporte fueron comparados con la información capturada. Por lo que la base de conocimiento tiene toda la información verificada y validada.

4.- Inferencia

La inferencia del sistema se realiza en dos etapas: la primera en la evaluación y la segunda en la selección. Para la evaluación se utiliza encadenamiento hacia adelante y particularmente la activación "si se agrega" (razonamiento guiado por expectación, pag. 90), es decir, existe una variable llamada "evalúa" que al inicio de la ejecución del Sistema Experto tiene un valor igual a falso; cambia su valor a verdadero y tiene una liga procedural que comienza a comparar el sistema de oferta con la especificación y asigna una calificación a cada elemento del subsistema, por ejemplo, para el subsistema de control, se tiene el siguiente razonamiento:

```
WHEN CHANGED
BEGIN
  action OF dBS FALLAS I IS append record := TRUE
  descrip OF dBS FALLAS I := "BORRAR"
  numsisema OF dBS FALLAS I := "2"
  IF PALABRA OF LCONTROL <> longpal OF dBS CONTROL I THEN
  BEGIN
    action OF dBS FALLAS I IS append record := TRUE
    descrip OF dBS FALLAS I := "LONGITUD DE PALABRA DE CPU DE TARJETAS"
    pedido OF dBS FALLAS I := CONCAT("02010", TO STRING(PALABRA OF LCONTROL))
    entrega OF dBS FALLAS I := CONCAT("02010", TO STRING(longpal OF dBS CONTROL I))
  END
  IF TECNISC OF LCONTROL <> argisc OF dBS CONTROL I THEN
  BEGIN
    action OF dBS FALLAS I IS append record := TRUE
    descrip OF dBS FALLAS I := "TECNLOGIA USADA EN EL CPU TIPO RISC"
    pedido OF dBS FALLAS I := "020200"
    entrega OF dBS FALLAS I := "000000"
  END
```

```

IF TECCISC OF LCONTROL <> arqisc OF dD3 CONTROL 1 TIEN
BEGIN
  action OF dD3 FALLAS 1 IS append record := TRUE
  descrip OF dD3 FALLAS 1 := "TECNOLOGIA USADA EN EL CPU TIPO CISC"
  pedido OF dD3 FALLAS 1 := "020300"
  entrega OF dD3 FALLAS 1 := "000000"
END

IF TMONTAJE OF LCONTROL <> montaje OF dD3 CONTROL 1 TIEN
BEGIN
  action OF dD3 FALLAS 1 IS append record := TRUE
  descrip OF dD3 FALLAS 1 := "MONTAJE EN TARJETAS DE CONTROL"
  pedido OF dD3 FALLAS 1 := CONCAT("02040", TO STRING(TMONTAJE OF LCONTROL))
  entrega OF dD3 FALLAS 1 := CONCAT("02040", TO STRING(montaje OF dD3 CONTROL 1))
END

IF TVELOCIDADCPU OF LCONTROL <> velepu OF dD3 CONTROL 1 TIEN
BEGIN
  action OF dD3 FALLAS 1 IS append record := TRUE
  descrip OF dD3 FALLAS 1 := "VELOCIDAD DEL CPU EN TARJETAS DE CONTROL"
  pedido OF dD3 FALLAS 1 := CONCAT("02050", TO STRING(TVELOCIDADCPU OF LCONTROL))
  entrega OF dD3 FALLAS 1 := CONCAT("02050", TO STRING(velepu OF dD3 CONTROL 1))
END

IF TFABRICANTE OF LCONTROL <> fabmodelo OF dD3 CONTROL 1 TIEN
BEGIN
  action OF dD3 FALLAS 1 IS append record := TRUE
  descrip OF dD3 FALLAS 1 := "MARCA Y MODELO DEL CPU EN TARJETAS DE CONTROL"
  pedido OF dD3 FALLAS 1 := "020600"
  entrega OF dD3 FALLAS 1 := "000000"
END

IF TSOFTWARECONF OF LCONTROL <> softconf OF dD3 CONTROL 1 TIEN
BEGIN
  action OF dD3 FALLAS 1 IS append record := TRUE
  descrip OF dD3 FALLAS 1 := "SOFTWARE DE CONFIGURACION DE TARJETAS DE
CONTROL"
  pedido OF dD3 FALLAS 1 := "020700"
  entrega OF dD3 FALLAS 1 := "000000"
END

...

...

...

END

```

Para la etapa de selección, se utilizan reglas de producción. Si un elemento del subsistema que se está evaluando cumple la condición especificada, entonces ejecuta la acción correspondiente. Las reglas de producción de la base de conocimiento están agrupadas por subsistema de tal manera que pueden ser desarrolladas y modificadas independientemente de otras reglas de otros subsistemas.

La selección se realiza por niveles debido a la amplitud del dominio del problema. Se seleccionó con base a puntos críticos que debe cumplir cada una de las propuestas. Se basa en el resultado de la evaluación y solo pasan a la selección aquellas propuestas que hayan obtenido un puntaje superior al umbral definido por los expertos.

Los niveles de selección se describen a continuación:

Primer nivel.- Debe cumplir con todos los criterios de descalificación. Los criterios de descalificación verifican puntos críticos de todos los sistemas, aunque un proveedor tenga un puntaje alto en la evaluación, pero no cumpla con algunos de los criterios, no pasa al siguiente nivel de selección.

Segundo nivel.- El nivel está enfocado a la calidad de servicio que ofrece el proveedor. Por ejemplo, número de cursos que imparte sin costo, los términos de la póliza de mantenimiento y garantías en el equipo, servicio a clientes, documentación. Dado que es muy importante que una vez que el equipo ha sido instalado debe tener un soporte robusto y contar con personal altamente capacitado.

Tercer nivel.- Califica la confiabilidad sobre el equipo adquirido, por ejemplo, las garantías de permanencia en el mercado para partes de repuesto, desempeño en plantas similares, así como las políticas de actualización en "hardware" y "software".

A continuación se muestra parte del código que realiza la selección:

```

WHEN CHANGED
BEGIN
  NUMERO := 1
  action OF dBJ CONTROL 1 IS advance := TRUE
  FOR (III := 1 TO 20) PRIMERO(III) := TRUE
  WHILE (NOT eof OF dBJ CONTROL 1)
  BEGIN
    OANADOR(NUMERO) := proveedor OF dBJ CONTROL 1
    LCUANTOGANO(NUMERO) := evaltotal OF dBJ CONTROL 1
    action OF dBJ CONTROL 1 IS advance := TRUE
    NUMERO := NUMERO + 1
  END
  NUMERO := 1
  action OF dBJ CONTROL 1 IS top := TRUE
  action OF dBJ CONTROL 1 IS advance := TRUE
  action OF dBJ ARQUI 1 IS top := TRUE
  action OF dBJ ARQUI 1 IS advance := TRUE
  WHILE (NOT eof OF dBJ ARQUI 1)
  BEGIN
    IF subcom OF dBJ ARQUI 1 = FALSE THEN
    BEGIN
      PRIMERO(NUMERO) := FALSE
      SINO(NUMERO) := "NO PASA"
    END
  ELSE
  BEGIN
    SINO(NUMERO) := "PASA"
    LCUANTOGANO(NUMERO) := LCUANTOGANO(NUMERO) + 10
  END
  NUMERO := NUMERO + 1
  action OF dBJ ARQUI 1 IS advance := TRUE
  END
  SEGUN := TRUE
END

```

5.- Explicación y justificación

Las interfaces explicativas tienen la función de mostrar al usuario la justificación del resultado y también de explicarle por qué se realiza un cuestionamiento durante la ejecución del sistema. En nuestro caso el módulo de evaluación, mostrará un reporte detallado de aquellos sistemas propuestos dando los puntos en los cuales fallaron o no cumplieron con los equipos especificados. Estas interfaces son pantallas y reportes impresos.

Para el módulo de selección, se tiene como resultados de la interfaz explicativa reportes en donde se muestran los criterios por los cuales se considera un Sistema de Oferta mejor que otro.

Módulo de Selección

ROSEMOUNT	PASA	PASA	PASA	43.5
FOXBORO SA DE CV	PASA	PASA	PASA	41
SIEMENS	PASA	PASA	PASA	40.5
FISHER	NO PASA			13.5
ABB	NO PASA			11
HONEYWELL	NO PASA			10
CONTROL SA DE CV	NO PASA			10

SELECCIONAR TODOS LOS INDICES

MENU PRINCIPAL

FIN

FIGURA 51. Pantalla final de selección.

Informe del resultado de la evaluación de la compañía:
888

03/05/76

SECRET

Descripción del punto que no cumple su propuesta por subsistema:

01.-INFRAESTRUCTURA DE AUTOMATIZACION

COMUNICACIONES
CONTROL
ALIMENTACION
BASES DE DATOS
INTERFAZ CON EL PROCESO
INTERFAZ CON EL OPERADOR
COMPUTADORA DE PROCESO

02.-SISTEMA DE CONTROL

MARCA Y MODELO DEL CPU EN TARJETAS DE CONTROL
ALGORITMOS DE CONTROL MULTIVARIABLE
CONFIGURABLE DESDE UNA COMPUTADORA PORTATIL
CONFIGURABLE DESDE EL TECLADO DE OPERADOR
REMANENCIA DE TIPO LINEAL EN TARJETA DE CONTROL

03.-SISTEMA DE BASES DE DATOS

SISTEMA OPERATIVO BASES DE DATOS
TIEMPO DE RECUPERACION BASES DE DATOS
PORCENTAJE DE RECUPERACION BASES DE DATOS
RESPALDO BASES DE DATOS
CONCURRENCIA BASES DE DATOS

04.-SISTEMA DE ALIMENTACION

VOLTAJE DE SALIDA
TIEMPO DE RESPALDO
POTENCIA DE RESPALDO
POTENCIA DE SALIDA
ARREGLO FUNCIONAL

05.-SISTEMA DE CONFIABILIDAD

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS

Reporte del resultado de la evaluación de la compañía:

03/05/96

AAA

SECRET

Descripción del punto que no cumplió su propuesta por existir:

TIEMPO DE REPARACION ANTE FALLAS
GARANTIA DE PERMANENCIA EN EL MERCADO DESPUES DE COMPRA
POLITICAS DE DESARROLLO EN SOFTWARE Y HARDWARE
CURRICULUM DE EXPERENCIA EN PLANTAS SIMILARES

66.-SISTEMA DE INTERFAZ CON EL PROCESO Y EQUIPO DE CONTROL

NUMERO DE ENTRADAS ANALOGICAS DE BAJO NIVEL
NUMERO DE ENTRADAS ANALOGICAS DE ALTO NIVEL
NUMERO DE ENTRADAS DIGITALES DE CORRIENTE ALTERNA
NUMERO DE ENTRADAS DIGITALES DE DC
NUMERO DE SALIDAS ANALOGICAS DE BAJO NIVEL
NUMERO DE SALIDAS ANALOGICAS DE AC
NUMERO DE SALIDAS DIGITALES DE VARIOS VOLTAJES
NUMERO DE SALIDAS DIGITALES TTL

67.-SISTEMA DE COMUNICACION

CAPA DE ENLACE DE DATOS EN LA RED DE COMPUTADORA DE PROCESO Y ESTACIONES DE OPERADOR
CAPA DE RED EN LA RED DE COMPUTADORA DE PROCESO Y ESTACIONES DE OPERADOR
CONTROL DE ACCESO AL CANAL EN LA RED DE COMPUTADORA DE PROCESO Y SUBSISTEMA DE CONTROL
CANAL DE ENLACE DE DATOS EN LA RED DE COMPUTADORA DE PROCESO Y SUBSISTEMA DE CONTROL
CAPA DE RED EN LA RED DE COMPUTADORA DE PROCESO Y SUBSISTEMA DE CONTROL
CONTROL DE ACCESO AL CANAL EN LA RED DE ESTACIONES DE OPERADOR Y SUBSISTEMA DE CONTROL
CAPA DE ENLACE DE DATOS EN LA RED DE ESTACIONES DE OPERADOR Y SUBSISTEMA DE CONTROL
CAPA DE RED EN LA RED DE ESTACIONES DE OPERADOR Y SUBSISTEMA DE CONTROL
LOCAL TIPO BUS DE SUBSISTEMA DE CONTROL Y ENTRADA Y SALIDA
LOCAL TIPO RS-232-C DE SUBSISTEMA DE CONTROL Y ENTRADA Y SALIDA
LOCAL TIPO RS-445 DE SUBSISTEMA DE CONTROL Y ENTRADA Y SALIDA
SERVIDO TIPO RS-485 DE SUBSISTEMA DE CONTROL Y ENTRADA Y SALIDA
SERVIDO TIPO PROPIETARIO DE SUBSISTEMA DE CONTROL Y ENTRADA Y SALIDA

68.-SISTEMA DE SERVICIO

TIPO DE ENVIO O RESPONSABILIDAD DE EMBAQUE
MUESTRA DE ACEPTACION SAT
CURSOS DE CONFIGURACION

138

Reporte del resultado de la evaluación de la compañía:

ABS

03/05/96

SECRET

Descripción del punto que no cumplió su propuesta por subsistema:

CURSOS DE PUESTA EN MARCHA
INVENTARIO DE DOCUMENTACION ENTREGADA
PORCENTAJE DE DOCUMENTACION ENTREGADA EN ESPAÑOL
POLIZA DE MANTENIMIENTO INCLUYE ACCESORIOS
POLIZA DE MANTENIMIENTO INCLUYE PROGRAMAS
DURACION DE GARANTIA
DURACION POLIZA DE MANTENIMIENTO
GARANTIA INCLUYE EQUIPO
GARANTIA INCLUYE ACCESORIOS
GARANTIA INCLUYE PROGRAMAS
TIEMPO MAXIMO DE RECUPERACION ANTE FALLAS
SERVICIO A CLIENTES EN OFICINAS LOCALES
SERVICIO A CLIENTES EN OFICINAS REGIONALES

09.-SISTEMA DE COMPUTADORA DE PROCESO

PROTOCOLO CAPA DE RED
METODO DE ACCESO AL CANAL
MEDIO FISICO
CAPACIDAD DE CINTA EN MB
CAPACIDAD EN CDROM
CAPACIDAD EN DISCO DURO
SISTEMA OPERATIVO
MANEJADOR DE BASES DE DATOS
MUNIENTE OPERATIVO
PROGRAMAS DE APLICACION
SOFTWARE DE HISTORIZACION
VELOCIDAD DE CPU
FABRICANTE Y MODELO DE CPU
MARCAS DE LA COMPUTADORA DE PROCESO
MODELO DE LA COMPUTADORA DE PROCESO
ARQUITECTURA (RISC, CISC)
MIPS
MFLOPS
NUMERO DE TECLAS
NUMERO DE TECLAS PROGRAMABLES
LLAVE DE ACCESO A TECLADO

140

Reporte del resultado de la evaluación de la compañía:

ABB

03/05/96

SECRET

Descripción del punto que no cumple su propuesta por subsistema:

TIPO DE SERVICIO DEL TECLADO
SELECCION DE PANTALLA CON TRACKBALL
SELECCION DE PANTALLA CON TOUCH SCREEN
SELECCION DE PANTALLA CON MOUSE
NUMERO DE PAGINAS POR MINUTO
RESOLUCION PUNTOS POR PULGADA IMPRESORA
TIPO DE IMPRESORA
NIVEL DE RUIDO SIN CUBIERTA IMPRESORA
NIVEL DE RUIDO CON CUBIERTA IMPRESORA
RESOLUCION MONITOR

10.-SISTEMA DE INTERFAZ CON EL OPERADOR

CAPACIDAD EN DISCO DURO
SISTEMA OPERATIVO
AMBIENTE OPERATIVO
VELOCIDAD DE CPU
FABRICANTE Y MODELO DE CPU
MARCA DE LA COMPUTADORA DE PROCESO
MODELO
ARQUITECTURA (RISC, CISC)
MIPS
MFLOPS
NUMERO DE TECLAS
NUMERO DE TECLAS PROGRAMABLES
LLAVE DE ACCESO A TECLADO
TIPO DE SERVICIO DEL TECLADO
SELECCION DE PANTALLA CON TRACKBALL
SELECCION DE PANTALLA CON TOUCH SCREEN
SELECCION DE PANTALLA CON MOUSE
NUMERO DE PAGINAS POR MINUTO
RESOLUCION PUNTOS POR PULGADA IMPRESORA
TIPO DE IMPRESORA
NIVEL DE RUIDO SIN CUBIERTA IMPRESORA
NIVEL DE RUIDO CON CUBIERTA IMPRESORA
RESOLUCION MONITOR
NUMERO DE COLORES MONITOR

Reporte del resultado de la evaluación del SISTEMA DE CONTROL

03/05/76

SECC01

PROVEEDOR	TARJETAS DE CONTROL					SOFTWARE			RESONANCIA	TOTAL
	Unidad Central de Procesamiento				Montaje	Algoritmos Configurables		En línea		
	Longitud de Palabra	Arqui- tectura	Velocidad	Fabricante Modelo	Runuras Especial	PID Lógico Multivar.	Com. procese Portátil Teclado/Ope.	o configuración	Duplicado	Resultado Final
ABB	1.000	1.000	1.500	0.000	1.000	2.500	1.000	0.000	1.500	11.000
CONTROL SA DE CV	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	2.500	0.000	2.500	1.500	10.000
FISHER	0.500	0.000	0.500	0.000	0.500	2.500	1.000	2.900	3.000	15.500
FORCERO SA DE CV	1.500	1.000	1.000	0.000	1.000	2.500	1.000	0.000	1.500	11.000
HONEYWELL	0.500	0.000	1.000	0.000	0.500	2.500	0.000	2.900	1.500	10.800
ROSENBLUM	1.500	1.000	0.500	0.000	0.500	3.000	1.000	3.000	1.500	15.500
SIEMENS	0.500	0.000	0.500	0.000	1.000	3.000	0.000	2.900	1.500	10.500

142

REPORTE DE SELECCION DE LA COMPAÑIA:
CONTROL SA DE CV

03/05/96

DESCRIPCION POR NIVELES

SEC001

NIVEL 1

NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE COMUNICACIONES
NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE CONTROL
NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE BASES DE DATOS
NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE ALIMENTACION DE ENERGIA
NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON EL PROCESO
NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON EL OPERADOR
NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON LA COMPUTADORA DE PROCESO

NIVEL 2

SI CUMPLIO CON CURSOS DE CONFIGURACION
SI CUMPLIO CON CURSOS DE MANTENIMIENTO
SI CUMPLIO CON CURSOS DE PUESTA EN MARCHA
SI CUMPLIO CON OFICINAS LOCALES A LA INSTALACION
SI CUMPLIO CON SOPORTE TECNICO
NO CUMPLIO CON DURACION DE LA GARANTIA
NO CUMPLIO CON DURACION POLIZA DE MANTENIMIENTO

NIVEL 3

NO CUMPLIO CON GARANTIA DE PERMANENCIA EN EL MERCADO PARA PARTES DE REPUESTO
NO CUMPLIO CON POLITICAS DE ACTUALIZACION DE SOFTWARE Y HARDWARE
NO CUMPLIO CON CURRICULUM EN PLANTAS SIMILARES
NO CUMPLIO CON TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS
SI CUMPLIO CON TIEMPO DE REPARACION

143

REPORTE DE SELECCION DE LA COMPAÑIA:
FORBONO SA DE CV

03/05/96

DESCRIPCION POR NIVELES

SEC001

NIVEL 1

SI CUMPLIO CON DIAGRAMA DE COMUNICACIONES
SI CUMPLIO CON DIAGRAMA DE CONTROL
SI CUMPLIO CON DIAGRAMA DE BASES DE DATOS
SI CUMPLIO CON DIAGRAMA DE ALIMENTACION DE ENERGIA
SI CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON EL PROCESO
SI CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON EL OPERADOR
SI CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON LA COMPUTADORA DE PROCESO

NIVEL 2

SI CUMPLIO CON CURSOS DE CONFIGURACION
SI CUMPLIO CON CURSOS DE MANTENIMIENTO
SI CUMPLIO CON CURSOS DE PUESTA EN MARCHA
NO CUMPLIO CON OFICINAS LOCALES A LA INSTALACION
SI CUMPLIO CON SOPORTE TECNICO
NO CUMPLIO CON DURACION DE LA GARANTIA
SI CUMPLIO CON DURACION POLIZA DE MANTENIMIENTO

NIVEL 3

SI CUMPLIO CON GARANTIA DE PERMANENCIA EN EL MERCADO PARA PARTES DE REPUESTO
SI CUMPLIO CON POLITICAS DE ACTUALIZACION DE SOFTWARE Y HARDWARE
SI CUMPLIO CON CURRICULUM EN PLANTAS SIMILARES
NO CUMPLIO CON TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS
NO CUMPLIO CON TIEMPO DE REPARACION

144

DESCRIPCION POR NIVELES

SECODI

NIVEL 1

- NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE COMUNICACIONES
- NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE CONTROL
- NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE BASES DE DATOS
- NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE ALIMENTACION DE ENERGIA
- NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON EL PROCESO
- NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON EL OPERADOR
- NO CUMPLIO CON DIAGRAMA DE INTERFAZ CON LA COMPUTADORA DE PROCESO

NIVEL 2

- NO CUMPLIO CON CURSOS DE CONFIGURACION
- NO CUMPLIO CON CURSOS DE MANTENIMIENTO
- NO CUMPLIO CON CURSOS DE PUESTA EN MARCHA
- NO CUMPLIO CON OFICINAS LOCALES A LA INSTALACION
- SI CUMPLIO CON SOPORTE TECNICO
- SI CUMPLIO CON DURACION DE LA GARANTIA
- NO CUMPLIO CON DURACION POLIZA DE MANTENIMIENTO

NIVEL 3

- NO CUMPLIO CON GARANTIA DE PERMANENCIA EN EL MERCADO PARA PARTES DE REPUESTO
- NO CUMPLIO CON POLITICAS DE ACTUALIZACION DE SOFTWARE Y HARDWARE
- NO CUMPLIO CON CURRICULUM EN PLANTAS SIMILARES
- NO CUMPLIO CON TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS
- SI CUMPLIO CON TIEMPO DE REPARACION

148

III.7 REFERENCIAS CAPITULO III

[1] Kane Les; "1990s:Decade of the expert system?"; Hydrocarbon Processing.; U.S.A.; Enero 1990.

[2] Turban Efraim; "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence"; Macmillan Publishing Company; E.U.A.; 1992; sin edición.

[3] Les Kane; "New control trends"; Hydrocarbon Processing; November 1989.

[4] Les Kane; "Support control standars"; Hydrocarbon Processing; June 1990.

[5] Les Kane; "ETop 10 control terms for '93"; Hydrocarbon Processing; January 1993.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la tesis nos dimos cuenta de la utilidad de los sistemas expertos para apoyar a la ingeniería. Los sistemas expertos permiten llevar el conocimiento a lugares en donde los expertos sean escasos o de plano no existan. El conocimiento vertido en el sistema experto ya no se perderá al momento en que el experto llegue a faltar.

El sistema experto fué desarrollado en una computadora personal, con un procesador 80386 y un monitor con resolución VGA, lo cual permite que el sistema funcione correctamente en una plataforma estándar.

El análisis del dominio permitió vislumbrar su amplitud y el diseño del sistema esta orientado a que el conocimiento pueda modificarse o ampliarse conforme a nuevos sistemas de control y al avance tecnológico.

ANEXO A

El Sistema de Oferta(SO) resulta de la agrupación de todos los elementos que se consideran para la selección de un determinado Sistema de Control Distribuido(SCD). Los elementos que constituyen al SO son:

- 1.-Subsistema de arquitectura de automatización
- 2.-Subsistema de computadora de proceso
- 3.-Subsistema de servicios
- 4.-Subsistema de control distribuido

Cada subsistema se analiza individualmente y los elementos que los conforman se desglosan en diagramas que permiten tener una visión clara de sus partes principales. En el anexo se describen las características principales de cada subsistema y su diagrama correspondiente de acuerdo a la estructura propuesta para el SO (ver figura 52).

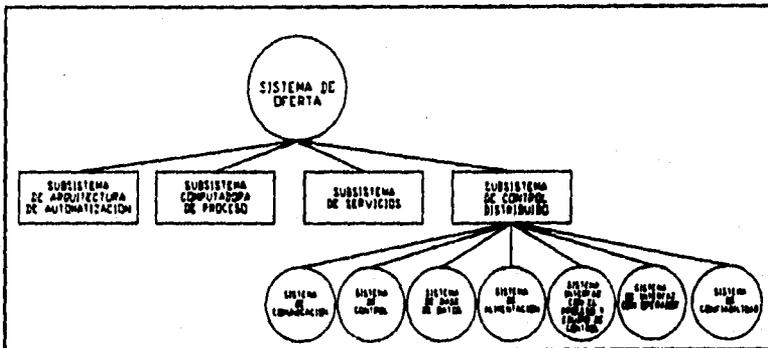
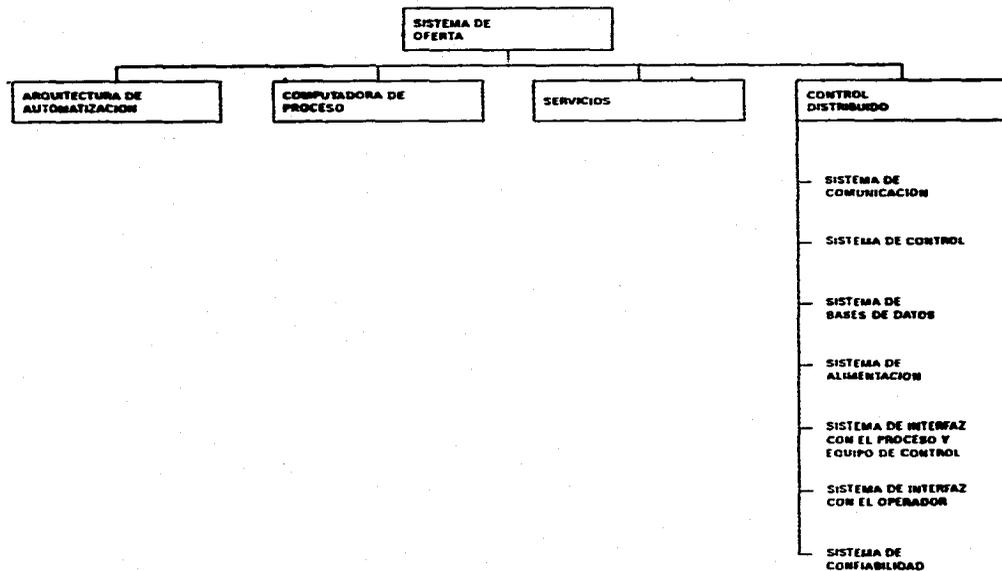


Figura 52. Estructura del Sistema de Oferta

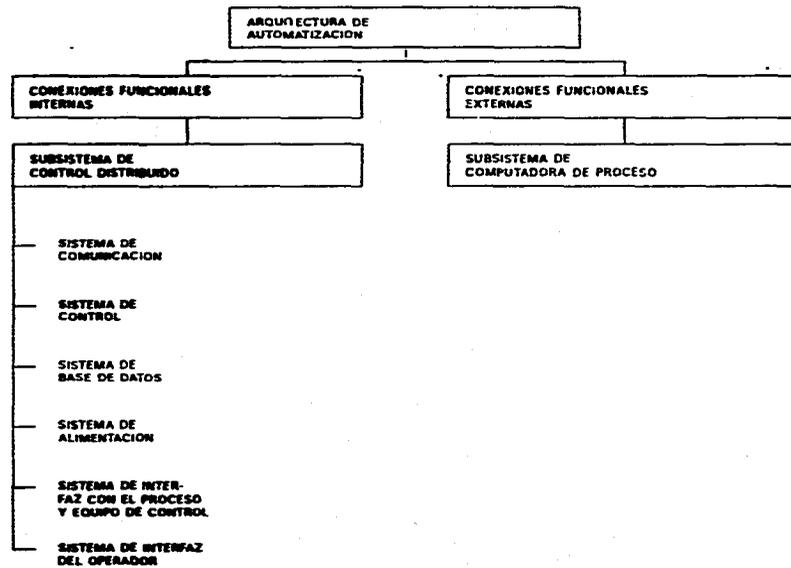
0. SISTEMA DE OFERTA

NIVELES: 2



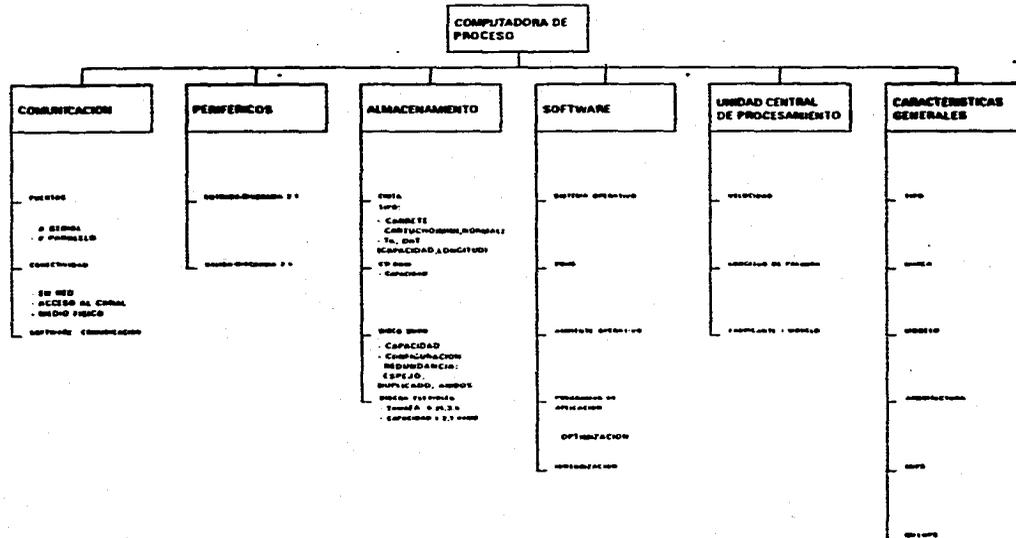
1. ARQUITECTURA DE AUTOMATIZACION

NIVELES: 4



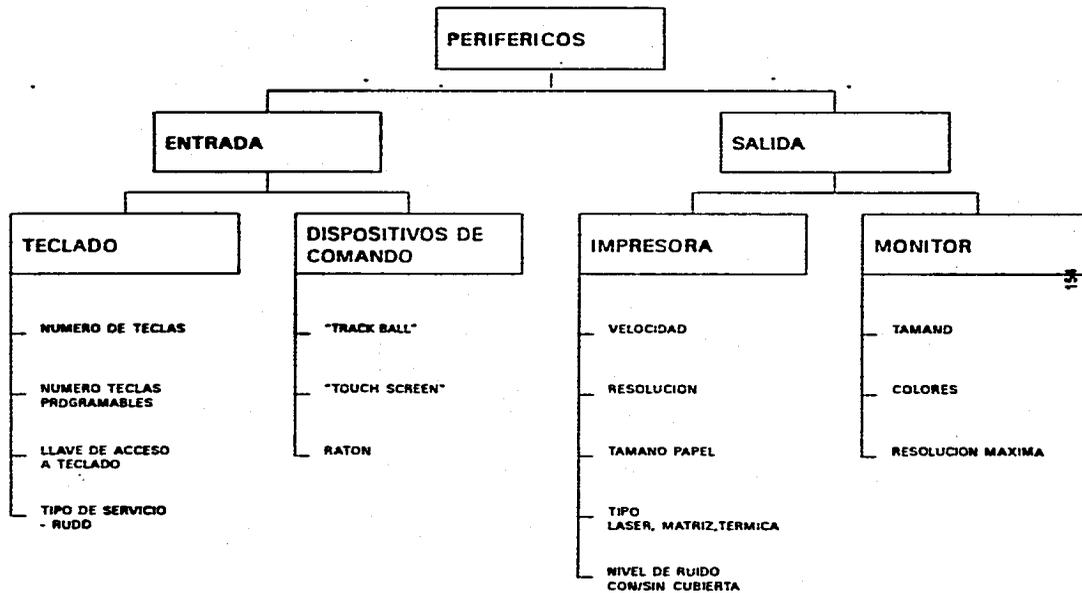
2. SUBSISTEMA COMPUTADORA DE PROCESO

NIVELES: 6

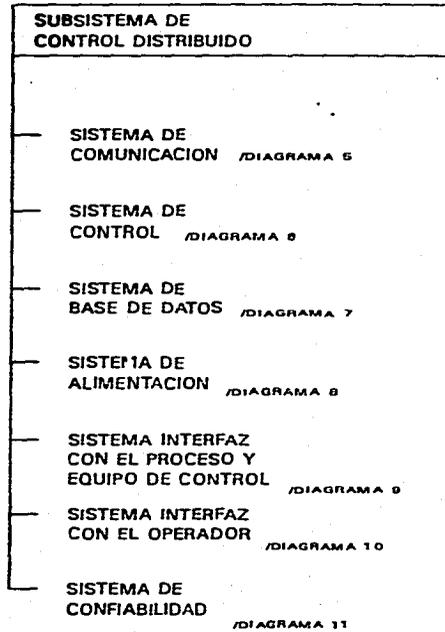


2.1 PERIFERICOS DE LA COMPUTADORA DE PROCESO

NIVELES:8

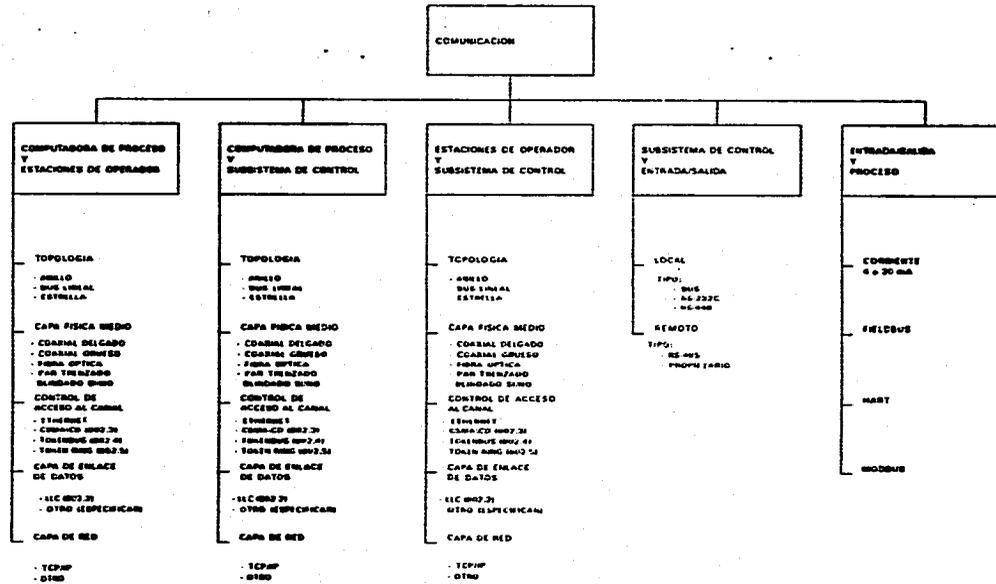


4. SUBSISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO



5. SISTEMA DE COMUNICACION

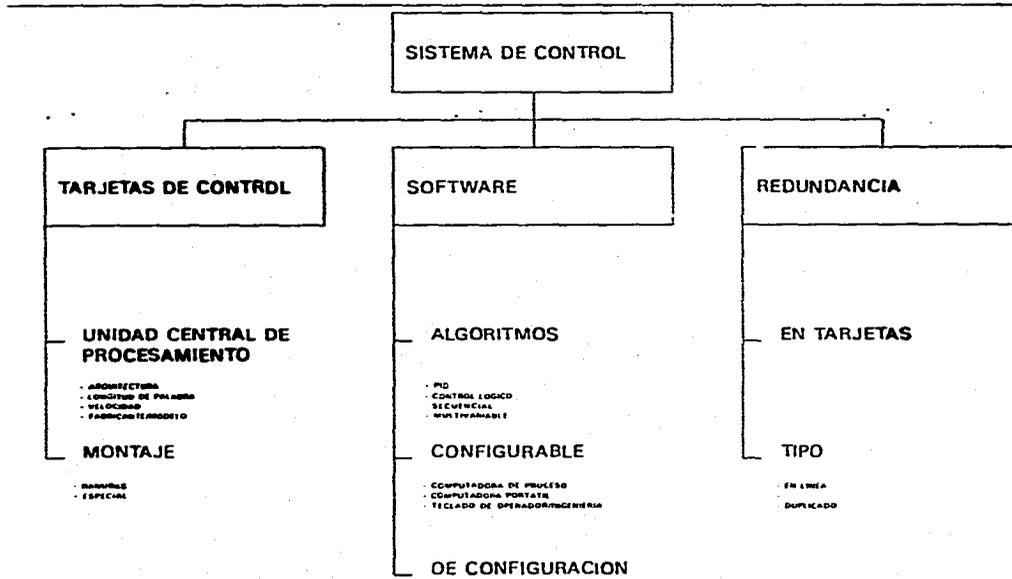
NIVELES: 4



187

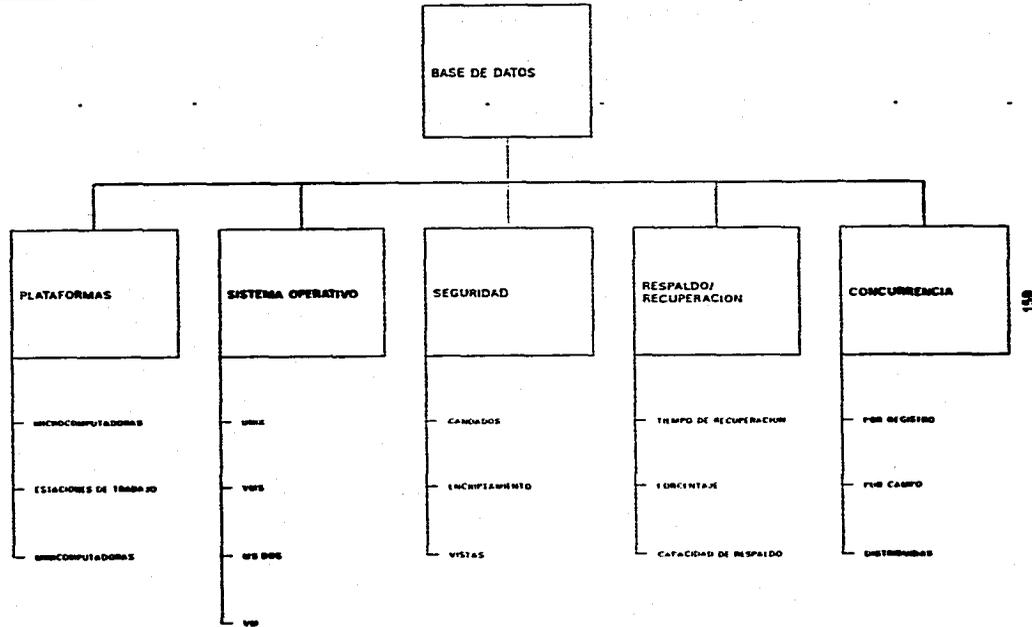
6. SISTEMA DE CONTROL

NIVELES: 6



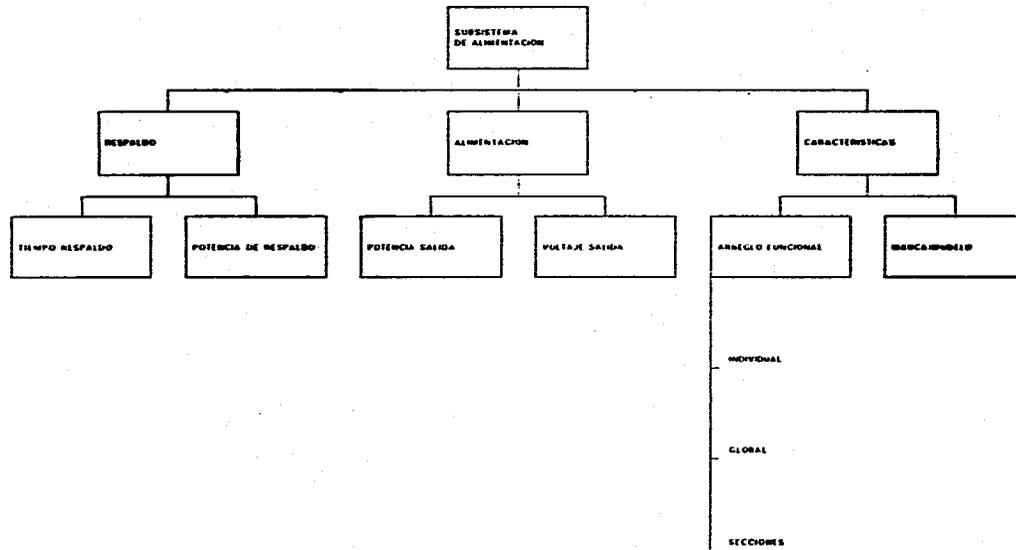
7. SISTEMA DE BASE DE DATOS

NIVELES: 2



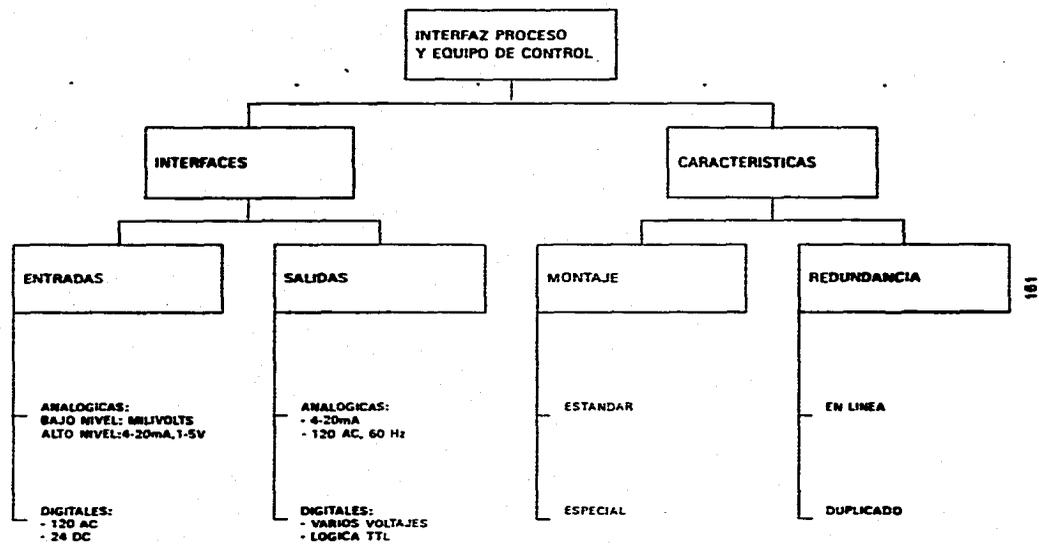
8. SISTEMA DE ALIMENTACION

NIVELES: 4



9. SISTEMA INTERFAZ CON EL PROCESO Y EQUIPO DE CONTROL

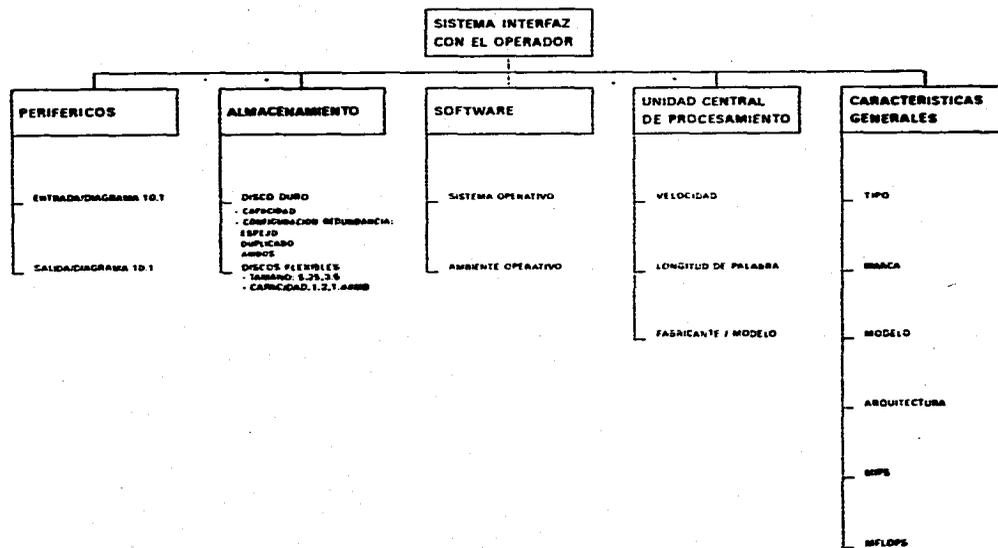
NIVELES: 5



181

10. SISTEMA INTERFAZ CON EL OPERADOR

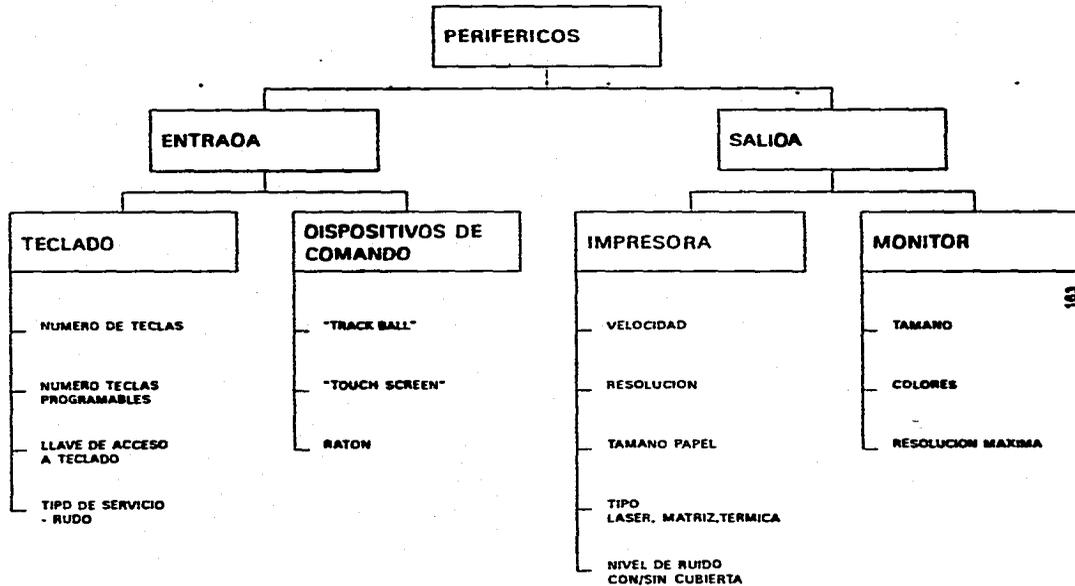
NIVELES: 8



102

10.1 PERIFERICOS DE LA INTERFAZ CON EL OPERADOR

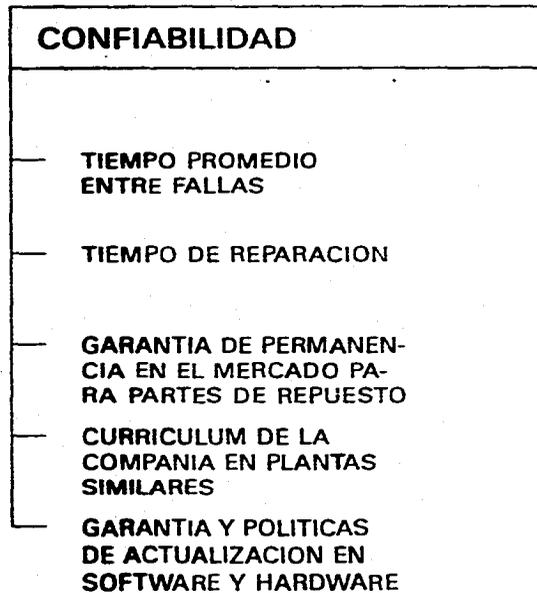
NIVELES-6



103

11. SISTEMA DE CONFIABILIDAD

NIVELES: 2



ANEXO B

LEVEL 5 OBJECT Y AMBIENTES DE DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

Los Sistemas Expertos pueden ser desarrollados con múltiples herramientas como son: Lenguajes de programación (C, PASCAL, PROLOG y LISP), "shell's" (EXSYS, VP Expert) y ambientes de desarrollo (Level 5 Object, Nexpert Object). Cada uno de estos tres tipos de herramienta de desarrollo proporciona ventajas y desventajas.

Los lenguajes de programación procedurales proporcionan el mejor control de la aplicación, los mejores tiempos de ejecución pero se necesita mas tiempo de desarrollo, es mas difícil representar reglas, marcos ademas que no tiene recolección de basura en la memoria. Los lenguajes de IA como: PROLOG y LISP proporcionan mecanismos para manejo simbólico lo que reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones.

Los "shell's" contienen todo lo necesario para desarrollar un Sistema Experto excepto la Base de Conocimiento que tiene que ser capturada por el ingeniero del conocimiento y se reduce aún mas tiempo de desarrollo porque no es necesario programar el motor de inferencia y otros modulos del Sistema Experto.

Sistemas híbridos o ambientes de desarrollo son definidos así porque tienen varias formas de representar el conocimiento, programación orientada a objetos, mecanismos de herencia, razonamiento hacia adelante, razonamiento hacia atrás y en ambos sentidos, Metareglas, Interfaz a bases de datos, hojas de cálculo, hipermedios

y conexión con redes neuronales. Con todas las facilidades mencionadas se reduce todavía más el tiempo de desarrollo del Sistema Experto.

En particular Level 5 Object es un ambiente de desarrollo:

- Para representar el conocimiento se pueden utilizar reglas de inferencia y marcos.
- Es un ambiente de desarrollo orientado a objetos
- Permite la creación interfaces sencillas y atractivas para el usuario
- Es compatible con bases de datos tipo Dbase
- Facilita la aplicación de las estrategias de búsqueda de razonamiento hacia adelante y razonamiento hacia atrás
- Permite utilizar un lenguaje de tercera generación para implementar procesos repetitivos
- Ambiente de programación visual
- Tiene generador de código automático