

# **CAPITULO III**

## **ESTUDIO DE SISTEMAS EXPERTOS Y SU APLICABILIDAD EN EL ÁREA DEL PETRÓLEO**

### 3.1. Generalidades

En la actualidad la utilización de metodologías de sistemas expertos en diferentes campos de las ciencias esta en auge, debido a sus diversos beneficios y ventajas que permiten dar solución a problemas que se presentan en cualquier momento. Así, en la industria petrolera ya se viene aplicando hace algún tiempo conceptos de sistemas expertos obteniéndose resultados muy satisfactorios.

Para dar a conocer la metodología empleada en el manejo de ensayos de crudo es necesario analizar los conceptos más importantes sobre sistemas expertos.

#### 3.1.1 Sistema Experto

Los sistemas expertos son una rama de la Inteligencia Artificial, que de una u otra forma simulan el comportamiento de un experto humano en cualquier campo de la ciencia.

**Definición.-** Existen diversas definiciones de sistema experto, una de las más conocidas es la que mencionan los autores Moser y Christoph (1987).

“Un Sistema Experto es básicamente un conjunto de programas de computadora y conocimiento codificado, que interaccionan de tal modo que el sistema razona y resuelve problemas, emulando los procesos lógicos de la mente humana”.

**Función.-** La principal función de un sistema experto es la de dar una solución inteligente a cualquier tipo de problema que exista en un campo especializado. Esto es posible porque intervienen personas expertas, los mismos que aportan sus conocimientos durante el desarrollo del sistema.

Los sistemas expertos también cumplen con las siguientes funciones:

- Almacenar datos y conocimiento
- Interpretación de datos involucrados en el sistema
- El análisis y evaluación de los objetos a tratarse
- La planificación y el diagnóstico de secuencias de acciones y
- Producir conclusiones lógicas y aprender de las mismas.

¿Cuándo es necesario desarrollar un sistema experto?

- Cuando los expertos humanos en un campo específico son escasos.
- Cuando la subjetividad humana en situaciones complejas puede llevar a conclusiones erróneas.
- Cuando hay un alto volumen de datos que se van a procesar para obtener una conclusión.

### **Campos de Aplicación**

Prácticamente, los sistemas expertos pueden ser aplicados en todas las ramas del conocimiento. Así como por ejemplo, en Geología, Medicina, Economía, Psicología, Derecho, etc.

### **Etapas para el desarrollo e implementación de Sistemas Expertos**

#### **a. Adquisición de Conocimiento**

Se trata de la transferencia de información a un programa desde una fuente de conocimiento experta. Esto se logra realizando múltiples entrevistas por parte de un analista o ingeniero de sistemas a un experto del campo.

Muchas veces existen problemas durante el desarrollo del sistema debido a que el experto expresa su conocimiento en un lenguaje propio de un campo de la ciencia en vez de hacerlo conocer en un lenguaje común para los que

trabajan en el programa. También surge el problema cuando el estudio de un campo específico no se puede caracterizar matemáticamente o adaptarlo a un modelo.

Las entrevistas vienen hacer una alternativa muy importante para la adquisición de conocimiento, donde las personas que forman parte del sistema evalúan sus nociones generando programas de computación, los mismos que permitan deducir automáticamente un conocimiento especializado, y a la vez que aprendan de las conclusiones.

### **b. Representación del Conocimiento**

En esta etapa se analiza la forma en que el cerebro humano almacena información para luego representarla en modelos deterministas, y así implementarla en un lenguaje computacional(sintaxis y semántica). A veces se utiliza lenguajes de representación que sirven para describir objetos organizados e ideas en vez de generar secuencias de instrucciones y datos simples.

La representación del conocimiento la podemos evaluar con los siguientes conceptos:

**Congruencia lógica.** Se refiere a la capacidad de realizar con exactitud las distinciones que se presenten entre diferentes objetos o elementos. **Ejemplo:** petróleo y materia con compuestos químicos.

**Poder heurístico.** Todo tipo de representación debe tener un grado de razonamiento que permitan ser reorganizadas y a la vez interpretadas para resolver problemas específicos.

**Conveniencia Notacional.** Es la forma en que se lleva el conocimiento adquirido a un tipo de codificación o simbología con el fin de darle una visualización común al sistema experto.

### **c. Aplicación del Conocimiento**

Una vez adquirido y representado el conocimiento debemos proceder a aplicarlo para hallar la búsqueda de una solución al problema planteado. Aquí se emplea el meta-conocimiento (conocimiento sobre el conocimiento) para no caer en incongruencias e inconsistencias.

Depende en gran medida de las técnicas utilizadas al aplicar el conocimiento, ya que éstas determinan el grado de eficiencia de un sistema experto; es decir no es suficiente con introducir datos al programa y esperar que deduzca o busque soluciones entre varias alternativas.

### **d. Explicación de las Soluciones**

Toda solución que resulte del sistema experto debe dar confianza al usuario, ya que dicha solución se basa en conclusiones correctas, aún cuando no esté completamente terminado el prototipo.

La explicación de soluciones dará satisfacción al usuario y al equipo de desarrollo del sistema; es por esto que los programadores mantienen, depuran y extienden el programa computacional para incluirle mejoras en los resultados. A esta etapa también se la denomina transparencia.

## **3.2. Características, ventajas y desventajas de los sistemas expertos.**

### **Características:**

- Abarcan un amplio conocimiento sobre un campo en particular
- Representación y procesamiento simbólico de conocimiento
- Poseen dominio del problema
- Diferentes maneras de explicar(inferencia) su propio razonamiento
- Se basan en hechos, reglas y otros tipos de conocimientos.
- Su estructura es modular

### **Ventajas**

1. Resuelven problemas de forma más rápida que los expertos humanos.
2. Permiten almacenar conocimientos de algunos expertos
3. Solucionan un problema mediante deducción lógica de conclusiones.
4. La base de la destreza del sistema viene hacer el conocimiento;
5. Tienen la capacidad de manejar conocimiento incompleto o impreciso.
6. Pueden aprender (modificando su base de conocimiento).
7. Alto rendimiento
8. Pueden inferir nuevos conocimientos.

### **Desventajas**

1. Razonan pero en base a un conocimiento adquirido y no tienen sitio para la subjetividad.
2. El conocimiento incluido en el sistema experto, suele ser de un número pequeño de especialistas.
3. El sistema experto está orientado a un campo específico y a la vez limitado.
4. El empleo de un gran volumen de información puede llegar a resultar un sistema muy complejo.
5. Tiene un límite de habilidad en el área especializada.

### **3.3. Estructura de los sistemas expertos**

La estructura se basa en tres componentes principales que son: Base de Conocimiento, Motor de Inferencia, Base de Hechos; esto se complementa con la Interface de Usuario, Módulo de explicaciones y Módulo de adquisición del Conocimiento.

### 3.3.1. Motor de inferencia

El motor de inferencia es la parte lógica del sistema experto que permite extraer conclusiones de la base de conocimientos, de tal forma que los resultados los deduce como lo hiciera un experto humano al resolver problemas.

Al motor de inferencia se le considera como el núcleo del sistema experto debido a que permite interactuar entre los elementos de la base de conocimiento y así construir los razonamientos basándose en hechos.

Un razonamiento o conclusión se obtiene cuando se aplica las diferentes reglas sobre los hechos disponibles. Así como por ejemplo:

Una Regla es : Si p y q entonces r; los hechos son: p y q; y la conclusión r.

También se puede observar en este ejemplo que los hechos que están en la cláusula "si" se llaman premisas, y el contenido en la cláusula "entonces" se llama conclusión.

**Funciones.-** Las funciones del motor o mecanismo de inferencia son:

1. Definir las acciones que sucederán, el orden de las mismas y cómo éstas se irán ejecutando entre las diferentes partes del Sistema Experto.
2. Establecer cómo y cuándo se procesarán las reglas. Y además qué reglas deben procesarse.
3. Mantener un estricto control del diálogo con el usuario.

En conclusión el motor de inferencia controla las operaciones que implican razonamiento, esto lo hace utilizando los datos que se han almacenado en la base de conocimientos y así puede concluir una solución.

### 3.3.2. La base de conocimientos

La base de conocimientos es la que se encarga de almacenar los hechos, las reglas y los procedimientos que luego darán solución al problema.

Las reglas suelen representarse de la siguiente forma, como ya se mencionó en el anterior componente del sistema experto.

**Si** premisas **Entonces** Conclusión y/o Acción.

Las **premisas** son relaciones lógicas sobre las cualidades de los objetos. La **conclusión** es en realidad un nuevo hecho que se almacena en la base de conocimientos para así ejecutar acciones. Todo este procedimiento mencionado se conoce como programación orientada a reglas.

Como podemos ver, para realizar acciones en la base de conocimientos se necesita plantearse diferentes preguntas, como pueden ser:

¿Qué objetos estarán definidos?

¿Cuáles son las relaciones entre los objetos?

¿Cómo se formulan y procesan las reglas?

¿La base de conocimientos puede dar solución a un problema?

¿La base de conocimientos es consistente?

### 3.3.3. La base de hechos

También conocida como la base de datos, se refiere a la memoria del ordenador en la que se almacena los datos de usuario para resolver un problema específico. Es decir, la base de hechos contiene información (conocimiento), que luego de analizarla y procesarla permitirá dar soluciones al problema planteado, además aquí se almacenan las conclusiones o resultados intermedios y datos resultantes del motor de inferencia.

Una particularidad de la base de datos (memoria temporal) es que no se conserva si el usuario así lo desea; en todo caso depende exclusivamente del problema estudiado.

Además de los tres principales elementos estudiados, existen los módulos de comunicación o interfase, que sirven para entablar el diálogo entre el usuario y la máquina, y que se verán a continuación.

**Características.-**

- En la mayoría de sistemas, la base de hechos se representa en una base de datos.
- Se encuentra relacionada directamente con la base de conocimientos.

**Ejemplo:**

Un hecho específico puede llegar a provocar una acción luego de cumplir una regla, así:

Hecho: Rendimiento\_Maquina= 0.4

Regla: SI Rendimiento\_Maquina < 0.5

ENTONCES Estado\_Maquina="Máquina en Bajo Rendimiento"

**3.3.4. Los diferentes módulos de comunicación**

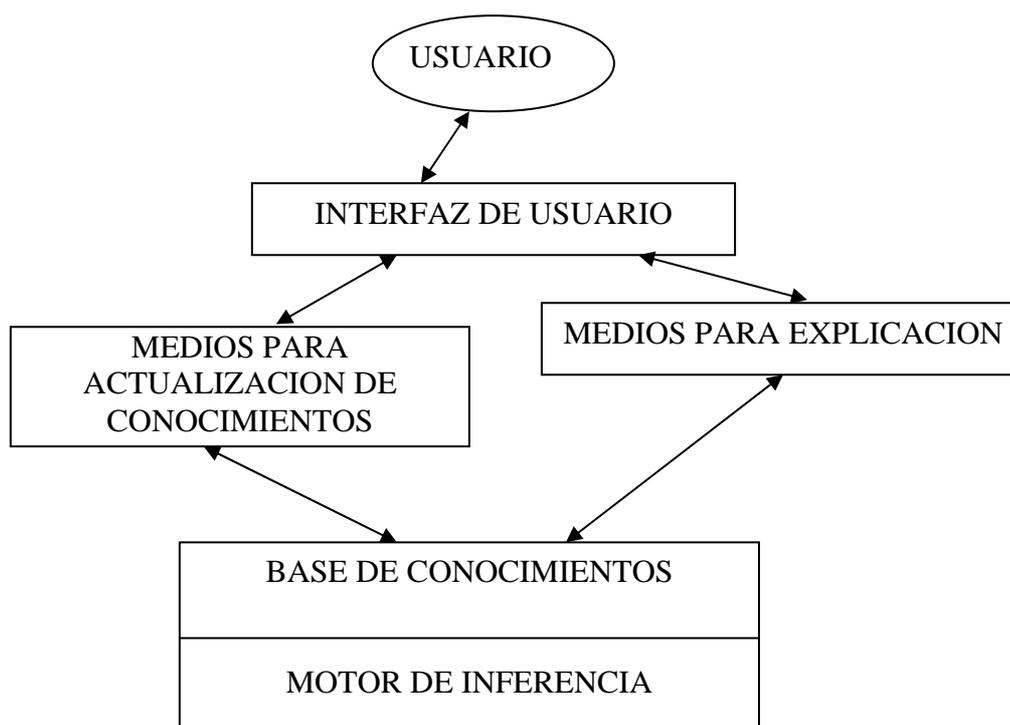
Los siguientes módulos son complementación de la estructura de los sistemas expertos: Interfaz con el usuario, Módulo de explicaciones y Módulo de adquisición del Conocimiento.

**3.3.4.1 INTERFAZ CON EL USUARIO**

Es el entorno que permite el diálogo entre el usuario y el sistema. El principal objetivo de este módulo es el de permitir un diálogo en un lenguaje casi natural con la máquina.

Así, gracias a este módulo o componente podemos realizar una consulta en un lenguaje lo más natural posible, además de entendible.

La interfaz de usuario es muy importante dentro de la arquitectura de un sistema experto como se lo indica en la siguiente figura:



**Figura 3.1.** Arquitectura típica de un sistema experto.

Para realizar una buena interfaz, se debe recibir información del usuario y ésta debe ser traducida a una forma aceptable, tomando en cuenta las múltiples interrogantes que se puedan presentar al momento de desarrollar la Interfaz, como pueden ser:

- ¿Cómo responderá el usuario a las interrogantes que se le presentan?
- ¿Cómo visualizará el sistema las respuestas a las interrogantes?
- ¿Qué tipo de información debe ser representada de forma gráfica?

### Requisitos de una buena interfaz

#### El aprendizaje del usuario para el manejo debe ser rápido

El usuario debe dedicar poco tiempo al manejo del sistema, éste debe ser intuitivo y muy fácil, ya que hablamos de un sistema experto que simula el comportamiento de un experto y por tanto ser cómodo y sencillo en cuanto al manejo.

**Evitar en lo posible la entrada de datos errónea.**

La incorrecta introducción de datos al sistema puede ocasionar resultados imprevistos y por tanto erróneos, entonces se debe ingresar datos muy bien validados.

**Presentar resultados en una forma clara para el usuario.**

Los resultados finales del sistema deben ser lo más claros y concisos posible, ya que de esto mucho dependerá la calidad del sistema.

**Las preguntas y explicaciones deberán ser comprensibles**

Tanto las preguntas como las explicaciones de todo sistema experto deben ser comprensibles para el sistema (preguntas) y para el usuario (explicaciones).

**3.3.4.2 MÓDULO DE EXPLICACIONES**

Esta parte funciona al momento que el usuario solicita una explicación de las conclusiones que resultan del sistema experto, todo esto se realiza por medio del anterior módulo.

Este módulo se considera como una ayuda al programador y al experto; al programador, ya que interactúa con la gestión del módulo de inferencia y al experto, en la verificación de la coherencia de la base del conocimiento y así explica, también, al usuario, como resulta un hecho. Claro está que la exactitud de los hechos y/o resultados sólo podrá ser controlada por los expertos.

Sabemos cuán importante es el componente explicativo en la estructura del sistema experto, pero hasta hoy en día no se han conseguido cumplir en su totalidad los requisitos de un buen módulo explicativo, es decir estos módulos han sido aún, poco satisfactorios en especial para el usuario final, aunque no lo sea así para el ingeniero del conocimiento o para el experto.

### **3.3.4.3 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO**

El conocimiento para el sistema experto es dado por el experto o por el ingeniero de conocimiento por medio de una interfaz de usuario específica. También la adquisición del conocimiento puede provenir directamente de sensores, bases de datos u otro software. Este módulo almacena la información que es nueva para la base de dato y no la que resultará ser redundante.

Los tres módulos anteriores no tienen casi ninguna influencia sobre el resultado de los razonamientos del sistema experto, pero juegan un papel importante al momento de presentar al usuario final.

Un componente de adquisición bien constituido ayudará mucho en la labor del Ingeniero del Conocimiento, para esto es necesario plantear requisitos adecuados para conformar un excelente componente de adquisición.

#### **Requisitos del componente de adquisición:**

1. El conocimiento (reglas, hechos, relaciones entre los hechos, etc), debe ser ingresado de una forma muy sencilla.
2. Representación clara de la informaciones contenida en una base de conocimientos.
3. Deberá existir una comprobación automática de la sintaxis.
4. Facilidad en el acceso al lenguaje de programación.

### **3.4. Representación de la información de petróleos con las adecuadas metodologías de sistemas expertos.**

Hasta en la actualidad se han venido desarrollando diferentes metodologías aplicadas al estudio de sistemas expertos, llegándose a determinar que ciertas metodologías resultan muy satisfactorias en diferentes campos de la

ciencia, es decir, una metodología puede ser muy útil en resolver problemas de un área específica.

Se hace necesario aplicar en este proyecto técnicas o metodologías utilizadas en sistemas expertos que sirven para dar solución a problemas complejos que intervienen en el tratamiento de crudos, además de dar un cierto grado de inteligencia al sistema en mención.

Para adentrarme en el proyecto de estudio sobre petróleos, he creído conveniente utilizar la metodología basada en reglas, debido a que sus bien detallados procedimientos permiten ver de una forma clara las relaciones que existen entre datos extraídos a partir de crudos.

La principal razón de escoger esta metodología es porque utiliza el sistema de reglas y encadenamiento de reglas que en el caso del estudio de crudos se hace necesario usar los componentes del mismo como parte de las reglas y su respectiva relación que existen con otros componentes.

A continuación se revisará de una forma breve las diferentes metodologías que se han venido estudiando durante el apareamiento de los sistemas expertos y por ende de la inteligencia artificial.

#### **3.4.1. Metodología basada en Teorema de Bayes (Redes Bayesianas)**

Las soluciones se dan con cálculos probabilísticos. Con el Teorema de Bayes se llega a concluir en probabilidades que involucran dos opciones con la posibilidad de incluir nuevos hallazgos.

#### **3.4.2. Metodología basada en sistemas de producción**

En lugar de aplicar fundamentos matemáticos como se hace con el Teorema de Bayes, aquí se trata de reproducir la forma en el que el ser humano combina diferentes fuentes de información. Se combina temas de Inteligencia Artificial y psicología.

### 3.4.3. Lógica Difusa

Permiten tratar de mejor forma el problema de la incertidumbre que los anteriores métodos tenían, es decir se busca mejores resultados por medio de evidencias inciertas

### 3.4.4. Metodología basada en reglas

Una de las metodologías a tratar en este proyecto es la que se basa en reglas en el que intervienen las reglas de inferencia: Modus Ponens y Modus Tollens y las estrategias de inferencia: encadenamiento de reglas y encadenamiento de reglas orientadas a un objetivo.

**Modus Ponens.-** Este modo de manejar las reglas es el que más comúnmente se usa. Se utiliza para obtener conclusiones simples. Aquí se examina la premisa de la regla, y si es cierta, la conclusión pasa a formar parte del conocimiento.

Como por ejemplo: Dada la regla: "Si A es verdad, entonces B es verdad" y además se sabe que "A es verdad", entonces la regla Modus Ponens concluye que "B es cierto". Este tipo de regla de inferencia es la base para el desarrollo de numerosos sistemas expertos.

**Modus Tollens.-** Este tipo de reglas también se utiliza para obtener conclusiones simples. Aquí se examina la conclusión y si ésta es falsa, se concluye que la premisa también es falsa. Como por ejemplo: Dada la regla, "Si A es verdad, entonces B es verdad" pero sabemos que "B es falso". Por lo tanto, aplicando la regla Modus Ponens no se puede obtener ninguna conclusión, en cambio la regla Modus Tollens nos dice que "A es falso".

En general se puede decir que el rendimiento del motor de inferencia dependerá del conjunto de reglas que estén contenidas en la base de

conocimiento. Existirán situaciones en las que el motor de inferencia puede concluir utilizando sólo un conjunto de reglas, aunque pueda utilizar otro equivalente.

**Encadenamiento de reglas.-** Esta estrategia puede utilizarse cuando las premisas de algunas reglas coinciden con las conclusiones de otras. Cuando se encadenan las reglas, los hechos pueden utilizarse para dar lugar a nuevos hechos.

**Encadenamiento de reglas orientadas a un objetivo.-** Aquí el usuario debe seleccionar, una variable o nodo objetivo; entonces el algoritmo navega a través de las reglas en busca de una conclusión para el nodo objetivo. Si no se obtiene ninguna conclusión, entonces el algoritmo fuerza a preguntar al usuario nueva información sobre los elementos que son relevantes para así obtener la información que se requiere del objetivo.

Como por ejemplo: en las figuras de abajo, en la parte derecha tenemos las reglas y en la parte izquierda se detalla las relaciones entre ellas, donde el nodo M es el objetivo(valor por calcular por medio de las reglas antecesoras).

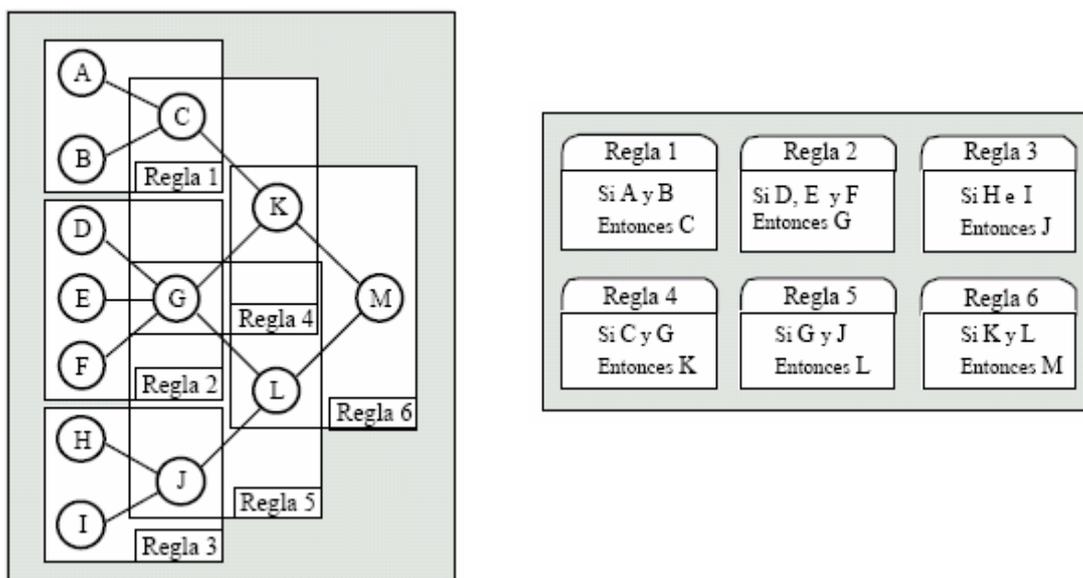


Figura 3.2. Conjunto de Reglas

En cualquier metodología a estudiar y emplear, por lo menos se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe estar al menos una persona experta para desarrollar tareas que se involucran en el sistema computarizado. En este caso es necesario la instrucción de un Ingeniero Químico.
2. Entre las principales fuentes de capacidad de un experto están: tener conocimiento especializado, toma de decisiones y la experiencia.
3. El desarrollo del proyecto debe tener un dominio de aplicación bien definido.

Es indispensable tomar en cuenta lo anterior ya que para generar el volumen de gasolinas se necesita de una base de conocimientos la misma que será cargada o alimentada por medio de los conocimientos de los expertos en el campo de petróleos.

### **3.5. Procedimientos de sistemas expertos con parámetros de planes de producción**

Los procedimientos de sistemas expertos utilizados en los planes de producción deben ser manejados por los expertos en petróleos junto con el programador informático. Los parámetros necesarios en estos procedimientos están disponibles gracias al estudio de la información recopilada en las distintas refinerías de petroindustrial.

En esta parte se pretende estudiar y verificar los procesos para la producción de los derivados de crudo.

El método basado en reglas tiene la principal ventaja de manejar mucha información que es algo que caracteriza al mundo real. Se pretende utilizar los debidos procedimientos que a partir de parámetros bien establecidos puedan ser relacionados para obtener la producción real de crudos sin mayor complejidad que en la actualidad se maneja.

**Ejemplo:** como una pequeña parte de parámetros de crudos se citan los datos obtenidos en refinería:

<u>NAFTAS</u>	VOLUMEN (BPD)	RON	AROMATICO	BENCENO
---------------	---------------	-----	-----------	---------

**Figura 3.3.** Parámetros de un derivado (nafta) de crudo.

Estos parámetros son explicados en detalle más adelante.

Toda la información anteriormente mencionada viene hacer almacenada en la base de datos (base de hechos) propia para el manejo de características de crudos.

Por tanto, los procedimientos están representados en la programación por un tipo especial de estructura que son las funciones, las mismas que están codificadas, evaluadas y aceptadas según los requerimientos de cada módulo que conforman el sistema.

Existen funciones que utilizan parámetros de la base de conocimientos, además de valores de retorno que permiten evaluarlas de una forma más dinámica y precisa. Entre las funciones principales que se han codificado y dan operabilidad al sistema están:

- *carga\_rendimientos*: permite recuperar los valores de rendimientos en volumen de cada derivado de petróleo que se procesa en las refinerías.
- *calcula\_volumen*: genera la parte de producción de derivados en las tres refinerías, esto lo hace aplicando fórmulas específicas.
- *evalua\_datos*: Comprueba que todos los datos ingresados o recuperados de la base de conocimientos sean los correctos.

### 3.6. Aplicación de la metodología de sistemas expertos en un módulo del software.

La metodología basada en reglas se ha implementado en un módulo del aplicativo. La razón es que, en este módulo de cálculo de producción de gasolinas se hace necesario aplicar una serie de encadenamiento de reglas para llegar a una conclusión u objetivo (la producción mensual de gasolina en barriles), a partir de datos de laboratorio. Ver anexo F (Reporte del plan de producción).

La tabla 3.1. muestra los parámetros con datos de prueba con los que se calcula la producción de gasolina en barriles por día.

RON	AROMATICOS	BENCENO	OLEFINAS	PRODUCCION NAFTAS	CARGA REFORMS.
72	0.77	0.22	2.53	108.419	
54	8.16	0.23	0.75	348.103	186.000
80	35.30	1.18	0.55		
83	51.00	3.20	0.00	181.792	
90	26.20	0.64	30.17	166.085	
91	25.00	0.60	30.00		
63	8.70	0.00	0.00		

**Tabla 3.1.** Parámetros y datos de prueba para gasolinas

Como vemos, los seis parámetros para realizar los diferentes cálculos son: Ron (Número de Octano), Aromáticos, Benceno, Olefinas, Producción de naftas y carga a reformadora. A estos componentes también se les conoce como hidrocarburos y están presentes en las naftas producidas en las refinerías.

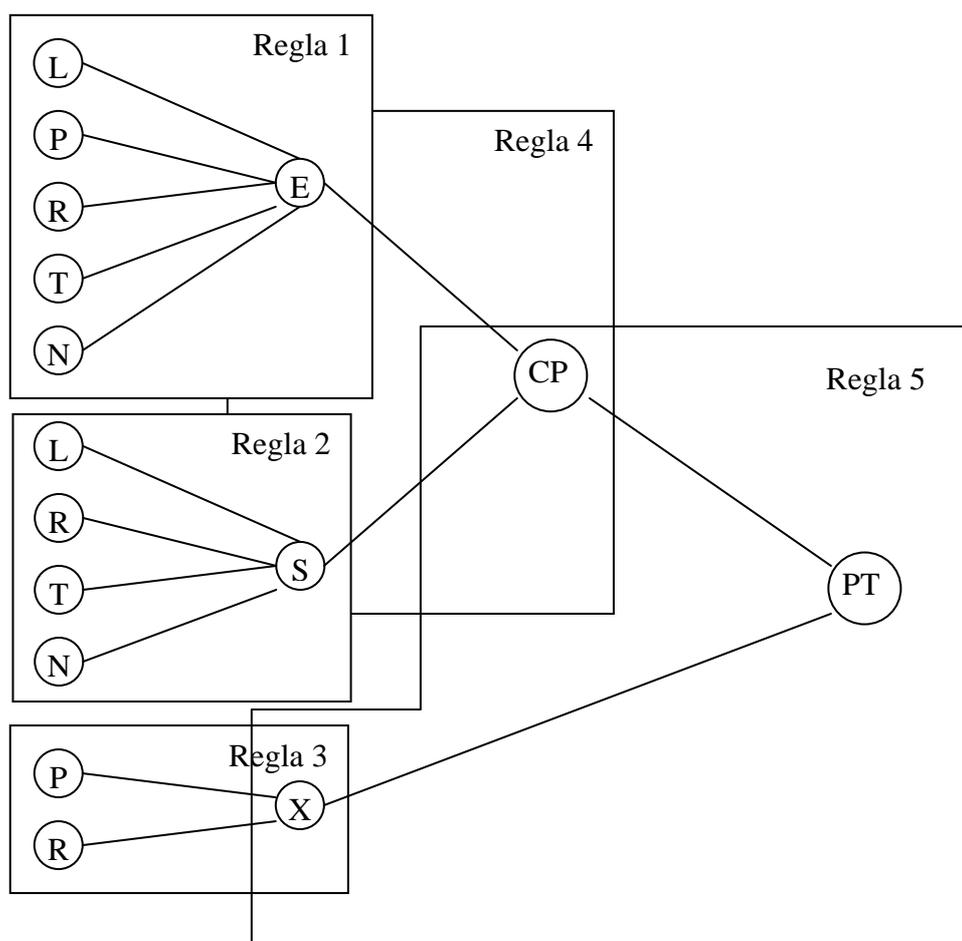
Ahora bien, se pretende generar resultados de producción aplicando las reglas de encadenamiento que ya hemos revisado. En la siguiente tabla se muestra el

las naftas producidas y el volumen de producción(en barriles por día); éste último es generado por medio de las reglas de sistemas expertos.

NAFTAS	VOLUMEN (BPD)
Liviana	105.384
Pesada	77.000
Reformada 1	0
Reformada 2	52.000
Tratada	156.237
NAO Importada	110.000
Base Libertad	

**Tabla 3.2.** Ejemplo de Naftas y volumen de producción

La red de reglas (encadenamiento de reglas) para nuestro objetivo se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.4.** Red de reglas para la producción de gasolinas

Donde,

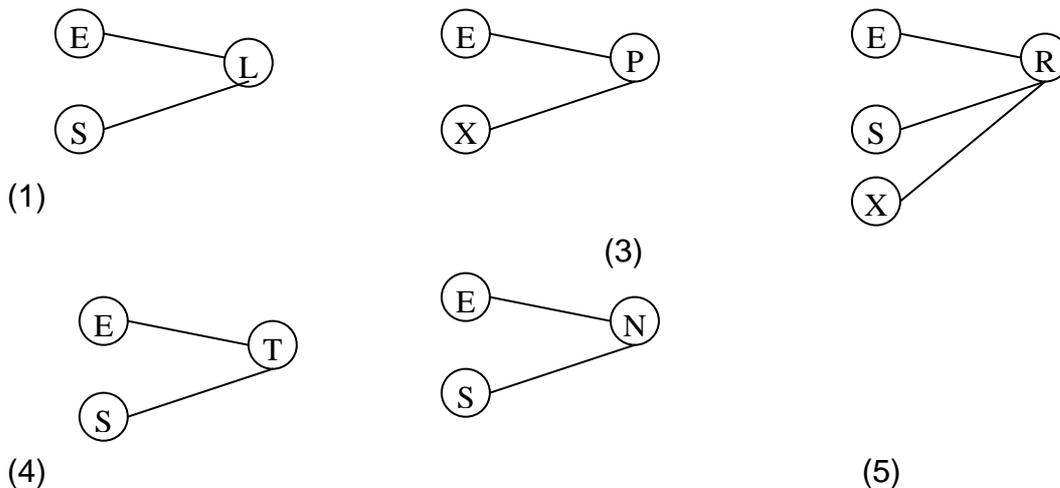
L = Nafta Liviana , P = Nafta Pesada, R = Nafta Reformada 2, T = Nafta Tratada, N = NAO Importada, CP = consumo país de gasolinas, PT = Producción total de gasolinas.

Esta red, se ha generado a partir de las restricciones o reglas que se conocen para la producción de las distintas gasolinas y que se muestran en la siguiente tabla.

NAFTAS	EXTRA	SUPER	EXCEDENTE
LIVIANA	Si	si	no
PESADA	Si	no	si
REFORMADA 1	No	no	no
REFORMADA 2	Si	Si	si
TRATADA	si	si	no
NAO.IMPORTADA	si	si	no
BASE LIBERTAD	no	no	no

**Tabla 3.3.** Reglas para la producción de gasolinas

Como vemos, las premisas de la regla 1 concuerdan en su mayoría con las de la regla 2 y regla 3; por tanto, del anterior encadenamiento de reglas, se derivan la siguiente reglas lógicas.



**Figura 3.5.** Reglas lógicas derivadas

Los procesos para calcular el volumen de naftas se explica detalladamente en el capítulo de análisis y diseño del sistema informático (capítulo V).