

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



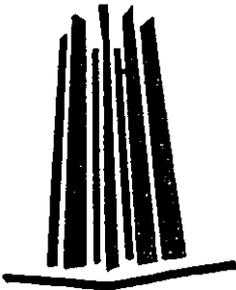
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON.

SISTEMA EXPERTO PARA DIAGNOSTICO
AUTOMOTRIZ
SEGUNDO NIVEL DE DIAGNOSTICO

297230

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN COMPUTACIÓN
P R E S E N T A :
MARTIN MANUEL ROMERO UGALDE

DIRECTOR DE TESIS
M.I. EUGENIO LÓPEZ ORTEGA





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.

*En este trabajo se plasma una etapa importante dentro de mi vida,
etapa en la que han participado diversidad de personas,
personas que con sus enseñanzas han dado forma a este trabajo,
personas que con sus actitudes me han mostrado la vida,
personas que con sus actitudes me han hecho que aprenda de la vida,
personas que con sus actitudes me han hecho crecer,
a todas estas personas gracias.*

*Agradezco a mi familia por el apoyo que siempre me han mostrado,
agradezco a mis amigos,
agradezco a mis compañeros de clases,
agradezco a todos de quienes he y sigo aprendiendo.*

*No hago mención a los nombres,
para no omitir alguno,
y se que cada uno en el fondo sabe como ha contribuido en este trabajo.*

y

agradezco a Dios por todo lo que me ha dado,
por lo que me ha enseñado,
por permitirme conocer a tan maravillosas personas en mi vida,
en fin por estar aquí y por siempre estar a mi lado.

A mis padres:
El ejemplo con el que me
han guiado, y el sacrificio
que han realizado, me han
alentado para lograr culminar
esta etapa y poder enfrentar
nuevos retos.

Gracias a esto, y a muchas otras cosas
El futuro se ve más promisorio
¡ Gracias !

Con aprecio para todos ustedes



Gracias
Martín Manuel Romero Ugaldé

SISTEMA EXPERTO PARA DIAGNÓSTICO AUTOMOTRIZ
SEGUNDO NIVEL DE DIAGNÓSTICO

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 Los sistemas expertos	4
1.1 ¿Qué son los sistemas expertos?	4
1.2 Elementos que componen los sistemas expertos	7
1.2.1 Base de conocimiento	7
1.2.2 Base de hechos	9
1.2.3 Motor de inferencia	11
1.2.4 Interfaz usuario-máquina	12
1.2.4.1 Mecanismo de explicación	13
1.2.4.2 Interfaz	13
1.3 ¿Por qué los sistemas expertos?	14
1.3.1 Características	14
1.3.2 Ventajas de los sistemas expertos	16
1.3.3 Desventajas de los sistemas expertos	17
1.3.4 Consideraciones para poder aplicar un sistema experto	18
1.4 Oportunidades para el uso de los sistemas expertos	19
1.4.1 Soporte de decisiones	19
1.4.2 Toma de decisiones	20
CAPÍTULO 2 Algunos sistemas expertos	22
2.1 Sistemas expertos según tipo de aplicación	22
2.2 Algunos ejemplos de programas de sistemas expertos	23
2.3 Algo de lo hecho para la industria automotriz	27
2.3.1 Tutoriales	27
2.3.2 Software para equipo de diagnóstico	29
2.3.3 Sistemas de diagnóstico automotriz	31
CAPÍTULO 3 Análisis para la construcción de un sistema experto	33
3.1 Identificación	33
3.1.1 Participantes y sus papeles	34
3.1.2 Identificar del problema	35
3.1.3 Identificar de los recursos	37
3.1.4 Metas del problema	39
3.2 Conceptualización	40
3.3 Formalización	42
3.4 Implantación	43
3.5 Prueba	43
CAPÍTULO 4 Diseño del sistema experto	46
4.1 Fuente de conocimiento	46
4.2 La inferencia en el 2º nivel de SEDA	48
4.3 Software para desarrollar el 2º nivel de SEDA	49
4.4 Estructura de la programación en el 2º nivel de SEDA	50

CAPÍTULO 5	Segundo nivel de diagnóstico	52
5.1	Mediciones	52
5.2	Captura de conocimiento experto	53
	5.2.1 Árboles	54
	5.2.2 Esquemas	56
5.3	Representación del conocimiento experto	59
5.4	Diagnóstico en los subsistemas	61
CAPÍTULO 6	Navegación	62
6.1	Instalación de SEDA	62
6.2	Ejecución	63
6.2.1	Captura de síntomas del 1er nivel	64
	6.2.2 Diagnóstico de 1er nivel	68
	6.2.3 El 2º nivel de diagnóstico	69
	6.2.3.1 Captura de mediciones	70
	6.2.3.2 Diagnóstico de 2º nivel	73
	6.2.3.3	
CONCLUSIONES		75
APÉNDICE		78
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS		81

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1.1</i> Desarrollo histórico del concepto de Inteligencia Artificial.	1
<i>FIGURA 1.1</i> Componentes de un marco.	8
<i>FIGURA 1.2</i> Red semántica que explica la relación entre objetos y conceptos de un diagnóstico médico parcial enfocado a infecciones.	8
<i>FIGURA 1.3</i> Script de consulta médica enfocada a infecciones.	9
<i>FIGURA 1.4</i> Elementos que componen un sistema experto.	14
<i>FIGURA 3.1</i> Etapas en el desarrollo de un sistema experto.	45
<i>FIGURA 5.1</i> Árbol de búsqueda de fallas.	55
<i>FIGURA 5.2</i> Algunas reglas del subsistema de bombeo y conducción.	60
<i>FIGURA 6.1</i> Icono de acceso a <i>SEDA</i> .	62
<i>FIGURA 6.2</i> Pantalla principal de <i>SEDA</i> .	63
<i>FIGURA 6.3</i> Pantalla con el menú principal.	64
<i>FIGURA 6.4</i> Pantallas de captura de síntomas.	66
<i>FIGURA 6.5</i> Pantalla de captura de lecturas del analizador de gases.	67

<i>FIGURA 6.6</i> Pantalla de captura de códigos de falla.	67
<i>FIGURA 6.7</i> Pantalla que muestra el diagnóstico por sistemas del primer nivel.	68
<i>FIGURA 6.8</i> Pantalla de inicio para el subsistema de alimentación de combustible, del segundo nivel de <i>SEDA</i> .	69
<i>FIGURA 6.9</i> Solicitud de medición de presión en el riel de inyectores en baja.	71
<i>FIGURA 6.10</i> Verificación de componente, revisar el filtro de gasolina.	71
<i>FIGURA 6.11</i> Verificación de componente, se pide se desmonte la bomba de gasolina y se revise el cedazo.	72
<i>FIGURA 6.12</i> Solicitud de medición de voltaje, medir el voltaje a la salida del relevador.	72
<i>FIGURA 6.13</i> Indica que la bomba no funciona por que en el riel de inyectores se tiene baja presión.	73
<i>FIGURA 6.14</i> Indica que la bomba no funciona por que no existe presión en el riel de inyectores.	74

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1.1</i> Parte de un motor de inferencia. Solicita datos y los almacena, genera un diagnóstico	11
<i>TABLA 2.1</i> Principales Sistemas Expertos identificados.	24
<i>TABLA 5.1</i> Características de los elementos del subsistema de Bombeo y Conducción.	58

INTRODUCCIÓN

Con la creación de computadoras se comienza a idear la forma de simular o hacer análoga la inteligencia o razonamiento del ser humano en las computadoras, dando origen, a inicios de la década de los cincuenta, al desarrollo de programas de tipo simbólico para la resolución automática de problemas. Esto fue génesis de lo que hoy conocemos como *Inteligencia Artificial*, que nace en realidad con la presentación del primer programa que era capaz de demostrar teoremas de lógica de proposiciones: Logic Theorist, considerado el primer programa efectivo de Inteligencia Artificial. Este programa, realizado por Newell, Shaw y Simon; fue presentado en el Colegio Dartmouth en 1956, donde se cree fue acuñado el termino *Inteligencia Artificial*. Lo anterior se observa de forma grafica en la figura 1.1.

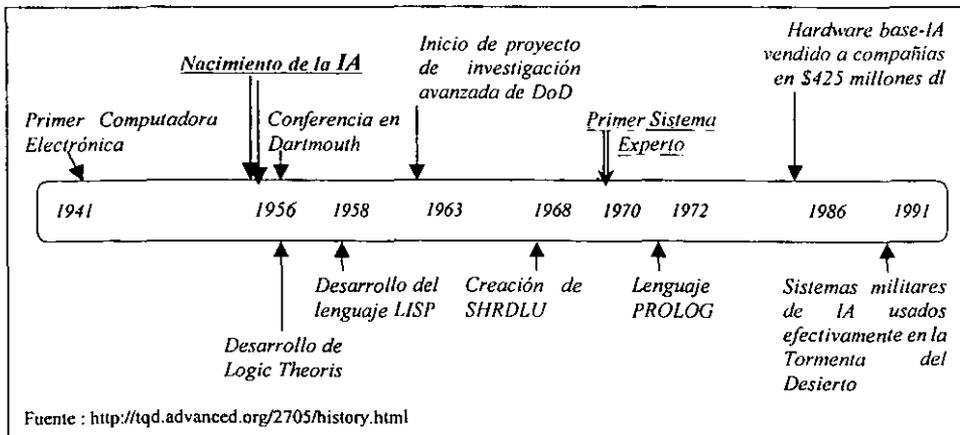


FIGURA 1.1 Desarrollo histórico del concepto de Inteligencia Artificial.

La *Inteligencia Artificial (IA)* es el subcampo de la Ciencia de la Computación concerniente a los conceptos y métodos de inferencia simbólica por la computadora y la representación simbólica del conocimiento para realizar inferencias. IA puede ser vista como un intento de probar los aspectos del modelo de pensamiento humano en computadoras. Está algunas veces definido como el intento de resolver por computadora algún problema que un humano puede resolver rápidamente, ya que para procesos algorítmicos y de cálculos la computadora es mucho más rápida, mientras que para procesos que no poseen un algoritmo específico, un ser humano puede ser más rápido.¹

Dentro de la Inteligencia Artificial encontramos diversas ramas entre las que podemos mencionar:

- ◆ *Sistemas Expertos*
- ◆ Redes neuronales
- ◆ Robótica
- ◆ Reconocimiento y clasificación de objetos por sus formas
- ◆ Solución heurística a problemas
- ◆ Aprendizaje
- ◆ Reconocimiento y comprensión del lenguaje natural
- ◆ Lógica difusa
- ◆ Algoritmos genéticos

¹ Definición tomada de: <http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?=Artificial+Intelligence&action=Search>

Cada una de estas ramas posee características propias para diferentes tipos de aplicaciones (problemas), por lo que una rama no puede ser tan eficaz con un tipo de problema así como otra rama se adaptaría con menor dificultad y viceversa.

Se puede decir que los SE son una de las áreas de la Inteligencia Artificial que ha tenido mayor desarrollo en estos últimos años. Este trabajo trata la rama de los Sistemas Expertos (SE) ya que es la más adecuada para el tipo de problema que se resolverá: el diagnóstico automotriz.

Dentro de la gama de vehículos automotores se consideran solo aquellos con motores de inyección de combustible (fuel-injection), lo anterior debido a que con la incorporación de tecnología electrónica en los vehículos, existen problemas asociados: la falta de conocimiento en electrónica por parte de los mecánicos automotrices, lo que conlleva a la falta del conocimiento y experiencia para realizar un diagnóstico eficiente y en ocasiones a cambiar partes innecesariamente.

Con base a lo anterior, este trabajo tiene por objetivos: el ser un apoyo en la realización de diagnósticos, una herramienta en la capacitación y enseñanza de diagnóstico automotriz a vehículos de inyección de combustible, para los mecánicos automotrices. El resultado de este trabajo es un Sistema Experto para Diagnóstico Automotriz (S.E.D.A.). El que se aplicara en el taller mecánico llamado Estrategia Fuel Injection (EFI), donde se encuentra al Ingeniero Daniel Giner, quien proporciona el conocimiento para el desarrollo de S.E.D.A.

CAPÍTULO 1 *Los sistemas expertos*

En este capítulo se verán lo que son los Sistemas Expertos (SE), sus componentes, así como sus características, ventajas, desventajas, consideraciones para su aplicación y oportunidades de uso.

1.1 ¿Qué son los sistemas expertos?

El programa popularmente denominado “sistema experto” fue desarrollado en los inicios de los años 70’s por el Dr. Edward Shortliffe en la Universidad de Stanford, el cual recomendaba la selección de antibióticos basado en los datos clínicos como el lugar de la infección y condiciones médicas asociadas.

Después de dos décadas, los métodos de programación de computadoras para la creación de sistemas expertos (“ingeniería del conocimiento”) han sido incorporados dentro de los reportes de las técnicas de la ingeniería del software estándar, con lo que se tienen más y mejores herramientas para un mejor desarrollo de SE.

Como ya se mencionó los SE son una rama de la IA. Los SE también son conocidos como *sistemas basados en conocimiento*. Existen diversas definiciones:

- ◆ “El que basado en la inteligencia artificial, está formado por una base de conocimientos, una base de hechos y motor de inferencias.”²
- ◆ Los SE son programas que se comportan como un experto humano. Se especializan en un campo determinado y utilizan la información almacenada en su base de datos para inferir respuestas a problemas planteados por el usuario.
- ◆ Área de la IA, también llamados sistemas basados en conocimiento, dando lugar a un sistema informático que incorpora, en forma operativa, el conocimiento de una persona experimentada, de tal manera que es capaz tanto de responder como de explicar y justificar sus respuestas.
- ◆ “Se considera que un sistema experto es la incorporación, en un ordenador, de un componente basado en el conocimiento que se obtiene a partir de la habilidad de un experto, de forma tal que el sistema pueda dar consejos inteligentes o tomar decisiones inteligentes... Una característica adicional deseable, y que para muchos es fundamental, es que el sistema sea capaz, bajo demanda, de justificar su propia línea de razonamiento de una forma inmediatamente inteligible para el que lo usa”³
- ◆ “Sistema basado en conocimientos, que imita el pensamiento de un experto, para resolver problemas en un terreno particular de aplicación”⁴

²Klein, Artur, *Informática en Colección: Maravillas de las ciencias*, Osiris Editores, España, 1990

³Comité de Sistemas Expertos de la British Computer Society
(http://nutibara.udca.edu.co/~frios/seminarioie/sistema_experto_ensamble.html)

⁴Asociación Argentina de Inteligencia Artificial

- ◆ “Sistemas de computadora expertos”, o “Sistemas basados en conocimiento”, son programas de computadora (software) que analizan datos en una forma que, si son operados por un ser humano, los puede considerar inteligentes.⁵
- ◆ Los Sistemas Expertos son sistemas computarizados que proporcionan soluciones a problemas en temas específicos, debido a que incorporan, en una base de conocimientos, conocimiento extraído de expertos humanos, de los cuales obtienen conclusiones válidas mediante mecanismos de inferencia.⁶

Lo que se observa en estas definiciones, es que los SE se enfocan (diseñan) a un área (problema) en específico. Los conocimientos y hechos en los que se basan para poder dar respuestas deben ser obtenidos de alguna fuente escrita de conocimiento o ser proporcionados por un experto humano (una persona con un alto grado de experiencia y conocimiento del tema). Esto, en conjunto con un programa orientado a SE, dará como resultado la emulación del proceder del experto humano sin necesidad que éste se encuentre presente. Tal como puede ser el caso en diagnóstico automotriz, en especial cuando los vehículos cuenten con sistema fuel injection, sistema formado principalmente por componentes electrónicos complejos, los que requieren conocimientos especiales para ser revisados y arreglados.

⁵<http://www.dsclab.ece.ntua.gr/~kblekas/medicine.html>

⁶ Tomado de Lara, F. (1991). Apuntes de la materia: Sistemas Expertos (FI UNAM)

1.2 Elementos que componen los sistemas expertos

Con base en las definiciones, diversos autores establecen los siguientes elementos básicos que componen a un SE:

1.2.1 Base de conocimiento

En la *base de conocimiento* están acumulados, de manera estructurada los conocimientos e información referentes al tema de la aplicación del SE. Existen diversas formas de almacenar el conocimiento, de las cuales las más comunes son por medio de reglas, marcos, redes semánticas y scripts.

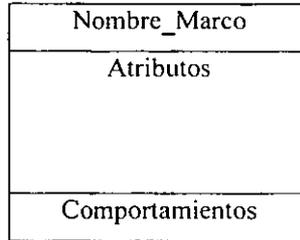
Las reglas se expresan en la forma de condiciones (si - entonces) o también con la siguiente estructura:

Para ciertas causas se obtienen ciertos efectos

Para determinadas condiciones se obtienen ciertas consecuencias.

Además, cuando se requiere junto a cada una de las reglas se indica su porcentaje de certidumbre. Esto con el fin de indicar el grado de certeza de que se obtengan las consecuencias como resultado de aplicar la regla de producción, lo que proporciona una forma de medir el grado de certidumbre de las posibles soluciones, con lo que se puede escoger la solución más plausible. El grado de certidumbre puede ser calculado por diversos métodos de razonamiento bajo incertidumbre: funciones de combinación para factores de certidumbre, teoría de las probabilidades bayesianas, teoría de Dempster-Shafer, lógica difusa.

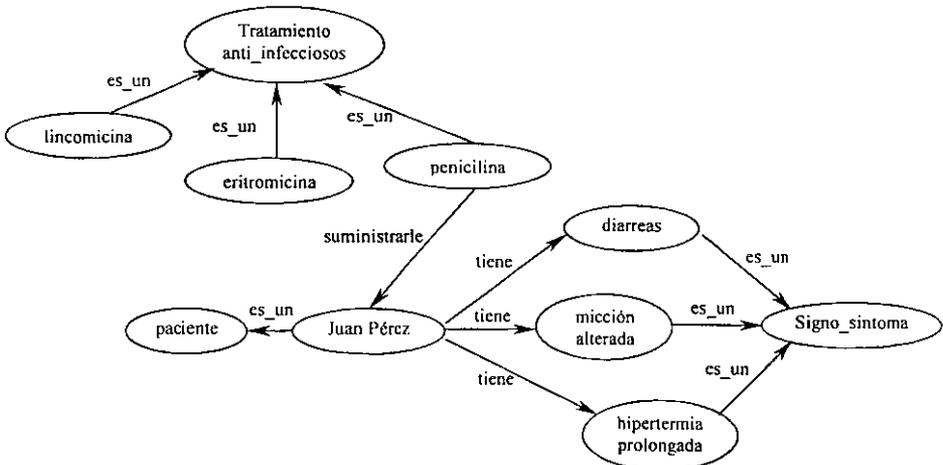
Los marcos representan jerarquías de los objetos además de incluir procedimientos en los objetos, para poder resolver un problema. Como se observa en la figura 1.1.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 1.1 Componentes de un marco.

Entretanto las redes semánticas son un método de construcción de bases de conocimientos en que el conocimiento se representa por un gráfico, constituyendo en cada vértice los objetos o conceptos y en cada arista se indica la relación entre ambos. La figura 1.2 muestra un ejemplo de una red semántica.



Fuente: Tomado de González, Pedro (2001). Apuntes de la materia: Sistemas Expertos (MCIC UNAM)

FIGURA 1.2 Red semántica que explica la relación entre objetos y conceptos de un diagnóstico médico parcial enfocado a infecciones.

Los scripts se utilizan para representar conocimiento episódico, referente a eventos y si ocurren en el tiempo. Un script describe una secuencia de eventos. Los elementos de un script son:

- Nombre del script
- Tipo de script
- Roles (papeles)
- Propiedades
- Condiciones de entrada
- Escenas
- Resultados

En la figura 1.3 se muestra un ejemplo de un scrip.

<i>Script:</i>	Consulta Médica
<i>Tipo:</i>	Consulta Médica Especialidad Enfermedades Infecciosas
<i>Roles:</i>	Paciente Médico Enfermera Secretaria
<i>Propiedades:</i>	Medicamentos Resultado de Laboratorio Historia Clínica Equipo médico
<i>Condiciones de entrada:</i>	El paciente presenta algún padecimiento. El paciente tiene cita médica

Fuente: Tomado de González, Pedro (2001). Apuntes de la materia: Sistemas Expertos (MCIC UNAM)

FIGURA 1.3 Script de consulta medica enfocada a infecciones.

1.2.2 Base de hechos

En la *base de hechos* se almacenan los datos sobre el hecho en particular que va a ser considerado. Representan los datos iniciales del problema, conclusiones

que se obtengan por el SE y cualquier otra información. En el caso de un SE para el diagnóstico de fallas se suministran las condiciones de la falla. Las formas más usuales de representar al conjunto de los hechos es por medio de:

- Marcos (FIGURA1.1).
- Predicados: *Predicado(argumento1, argumento2, ..., argumento n)*

Además de desempeñar el papel de memoria de trabajo, es el lugar donde se almacenarán datos de entrada (que proporciona el usuario), datos intermedios (estados intermedios inferidos durante la ejecución del SE) y la(s) respuesta(s) (estado o estados meta) del SE al problema. Por lo anterior conserva el rastro de los razonamientos que efectúa, para explicar el origen del estado o estados meta alcanzados por el SE durante la sesión de trabajo o también para llevar a cabo una descripción del comportamiento del propio SE.

El rastro generado, sirve para que el experto revise la lógica del SE y así corrobore que el SE este funcionando adecuadamente. Además sirve para que el usuario “aprenda” del comportamiento del SE, de acuerdo al diagnóstico realizado basándose en el estado inicial (hechos iniciales y datos solicitados durante la ejecución).

1.2.3 Motor de inferencia

Es el módulo que interrelaciona los datos de la base de conocimientos, hechos y respuestas a preguntas particulares solicitadas por el SE. Es el encargado de realizar la selección de datos y de realizar los pasos adecuados de “razonamiento”, seleccionar, validar y activar algunas reglas que permitan la obtención de nuevo conocimiento para llegar a la solución al problema planteado. El motor de inferencia es el conocimiento sobre como utilizar el conocimiento, en otras palabras es metaconocimiento. En la tabla 1.1 se muestra parte de un motor de inferencia, escrito en Prolog.

```

Pregunta_inserta_ss(SS, Resp):-
    nl,
    write("El paciente tiene ", SS, " (s/n)?"),
    readchar(Resp),
    assertz(db_signo_sintoma(SS,Resp)).

Resultados_diagnostico:-
    Db_diagnostico(E,T,FC),
    nl,
    write("Diagnostico : ", E), nl,
    write("Tipo de Diagnóstico : ", T), nl,
    write("Certeza : ", FC), nl,
    write("Presione alguna tecla para
continuar"),

```

TABLA 1.1 Parte de un motor de inferencia. Solicita datos y los almacena, genera un diagnóstico

El motor de inferencia es como los SE utilizan el conocimiento que tienen almacenado, para realizar las inferencias (deducciones, inducciones). Existen varias formas de realizar las inferencias, tal como:

Búsqueda hacia adelante (propagación de deducciones a partir de datos iniciales o intermedios), comenzando a partir de datos y/o información suficientes proporcionados por la base de conocimiento y/o usuario, que permitan llegar a una solución plausible. La búsqueda hacia adelante se utilizó en la primera parte de diagnóstico de S.E.D.A. (primer nivel de diagnóstico). En el capítulo 6 se muestra parte del primer nivel de diagnóstico.

Búsqueda hacia atrás, está direccionada por las metas, no requiriendo que toda la información relevante se tenga disponible al iniciar las inferencias, ya que cualquier dato que se requiera será preguntado por el SE. Este tipo de inferencia es lo más adecuado para la implementación del segundo nivel de S.E.D.A., ya que parte de metas generadas por el primer nivel de diagnóstico.

El motor de inferencia integra los datos de entrada del usuario, de la base de datos estándar, las metas (objetivos) especificados por el usuario y el conocimiento experto de la base de conocimiento.

1.2.4 Interfaz usuario-máquina

Módulo encargado de la interacción del sistema con el usuario, que permite un fácil diálogo entre usuario y máquina, comúnmente realizado en el SE con preguntas y dando explicaciones del por qué de sus respuestas.

Este módulo, permite la captura de datos requeridos al inicio de la inferencia o requeridos durante la misma. Con la captura de datos se arranca el motor de inferencia, iniciando el funcionamiento del SE. Al terminar las inferencias el SE, la interfaz usuario- máquina puede mostrar una explicación de los resultados de así requerirse.

Esto se puede dividir para una mejor aclaración en los mecanismos: explicación e interfaz.

1.2.4.1 Mecanismo de explicación

La característica principal de este mecanismo es el de ser capaz de explicar el proceso de inferencia realizado (reglas, acciones, etc. que se hayan ejecutado) para llegar a la recomendación o conclusión dada por el SE.

1.2.4.2 Interfaz

Ya que los mecanismos de explicación constituyen uno de los elementos de interacción con el usuario, se encuentra otro elemento que nos permite desplegar o imprimir la información del mecanismo de explicación así como la recomendación o conclusión a que se haya arribado. En algunos casos la interfaz permite realizar modificaciones en la forma de operar del motor de inferencia.

En la figura 1.4 se muestra como se relacionan los componentes de un sistema experto.

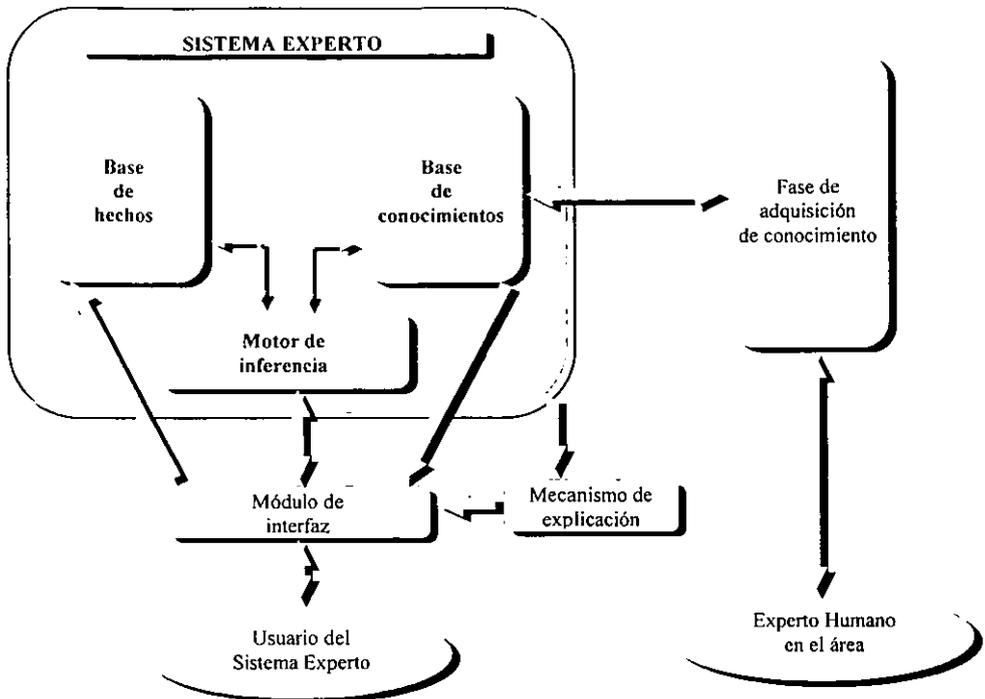


FIGURA 1.4 Elementos que componen un sistema experto.

Fuente: Elaboración propia

1.3 ¿Por qué sistemas expertos?

1.3.1 Características

Son idóneos para la resolución de problemas de un área en especial, en donde se requiera un conocimiento experto. Con esto se expresa que cada SE se encuentra diseñado de acuerdo y para el problema específico en un área delimitada. Los SE son adecuados para problemas que no se puedan resolver con modelos o algoritmos matemáticos, o que la complejidad de estos utilicen más tiempo y/o sean difíciles para su desarrollo, ya que deben incorporar conocimiento y el manejo del mismo. En el SE se almacena el conocimiento del área del problema. De acuerdo a la cantidad y

calidad del conocimiento se dará robustez al SE, en la resolución de problemas, sin que se menosprecie el motor de inferencia.

Sus características de arquitectura y funciones son:

- Rango de lógica simbólica que es adecuada para cálculos numéricos.
- Una base de conocimiento explícita que es comprensible para un experto en el área de conocimiento.
- Uso de conocimiento experto para resolver problemas en un dominio específico con alta efectividad.
- Separación de datos, conocimientos y control.
- Transparencia de la representación de conocimientos.
- Incorporación de mecanismos de explicación sobre su proceso de razonamiento para la obtención de la solución, con conceptos que son significativos y expresivos al usuario.
- Capacidad de crecimiento con respecto al conocimiento que tiene codificado, entre otras.

Para la creación de SE es necesaria la utilización de programas adecuados en los que se maneje bases de conocimiento y motores de inferencia, para que tengan un buen desempeño. Ya que la programación convencional (procedural) está enfocada a la implementación de algoritmos y modelos o métodos matemáticos.

Con lo anterior no se niega la factibilidad de la implantación de un SE en un lenguaje procedural. En varios casos se tendría como consecuencia el aumento de trabajo en la programación, mayor trabajo para diseñar el programa y talvez una mayor dificultad para poder realizar actualizaciones en el programa procedural (incremento de conocimientos en el caso de SE). Ya que en varios casos el conocimiento, hechos y forma de ejecución (motor de inferencia en los SE) están

mezclados entre si. Lo que no sucede en los lenguajes con características para implementar SE, en los que el conocimiento y motor de inferencia son módulos distintos. Y se pueden incrementar los conocimientos sin tener que realizar modificaciones al motor de inferencia.

1.3.2 Ventajas de los sistemas expertos

1. Se pueden aplicar en problemas para los que no existe un modelo matemático idóneo o su solución es muy compleja por medios tradicionales, tal es el caso de algunas áreas de aplicación:

- ◆ Medicina

 - Diagnóstico

- ◆ Ingeniería

 - Diagnóstico

 - Diseño

- ◆ Finanzas

 - Toma de decisiones

- ◆ Control

 - Apoyo al control de procesos

2. Mantiene el conocimiento del experto o expertos, además de tenerlo accesible en cualquier momento para diversas personas.

3. Poseen la capacidad de poder mostrar el razonamiento que realizaron para poder llegar al resultado.

4. Los SE tienen permanencia por que no olvidan, mientras los expertos humanos lo pueden hacer.

5. Los SE por ser programas de cómputo son reproducibles. Se puede realizar varias copias del SE, en contraste que para tener nuevos expertos humanos es necesario consumir tiempo y además resulta caro.

6. Por presentar consistencia, los SE con procedimientos similares, se manejan de forma similar. El SE puede hacer recomendaciones similares para situaciones similares.

7. Los SE por medio de su mecanismo de explicación pueden proveer “documentación” de los procesos de decisión (tal como pasos y reglas que utilizó y activó durante su ejecución).

1.3.3 Desventajas de los sistemas expertos

1. La creatividad es una desventaja importante ya que mientras los expertos humanos pueden responder creativamente a situaciones inusuales, los SE no lo pueden hacer.

2. Los expertos humanos automáticamente pueden adoptar nuevos conocimientos y cambios de ambiente, en tanto que los SE deben ser actualizados para tal efecto.

3. Los SE no son buenos cuando la respuesta no existe o cuando el problema se encuentra fuera de su área de “conocimiento”.

4. El proceso de adquisición del conocimiento es difícil. Se deben resolver las diferencias en conceptos, para posteriormente definir las formas en que se adquiere el conocimiento, las cuales se refinan durante el proceso. Se debe acordar horarios de reunión con el experto, que por lo regular no son muy extensos.

5. Su construcción requiere de conceptualización del proceso en el que trabaja el experto humano y de tiempo. El tiempo requerido desde la identificación hasta la puesta en marcha del SE es considerable.

1.3.4 Consideraciones para poder aplicar un sistema experto

- ▼ Una justificación para implementar un SE, es cuando la solución de un problema posee una rentabilidad alta que lo justifique, si las soluciones son necesarias para el área y no se tienen otros métodos para obtenerlo.

- ▼ El problema solo se puede resolver por aplicación de conocimiento experto (metaconocimiento), que proporcione la forma de procesar la información del problema. Se tiene acceso a un experto que puede dar forma a los conocimientos necesarios para la resolución del problema, proporcionando con esto experiencia al sistema.

- ▼ El problema puede o no tener más de una solución. Los SE trabajan mejor con problemas que tengan un cierto número de soluciones aceptables.

- ▼ Es cambiante alguno de los aspectos del problema, tal como, el mismo problema, el conocimiento o sus soluciones.

- El lugar donde se requiere al experto es de difícil acceso y/o tardado para llegar o las consultas requeridas son muchas simultáneamente.

Además de esto podemos considerar los siguientes puntos, en caso de ser afirmativos, nos darán mayor seguridad de que es factible y tal vez necesario la creación de un SE.

- Se tiene una base de conocimiento con sus correspondientes mecanismos de inferencia.
- Adicionalmente a los resultados, se necesitan explicaciones que los respalden.
- Se requiere una respuesta que sea el cien por cien segura y demostrable.

1.4 Oportunidades para el uso de los sistemas expertos

Hoy día existe una gran gama de oportunidades para la utilización de SE. Son diversos los problemas que pueden resolverse y/o apoyarse con SE (aplicaciones de diagnóstico, monitoreo, diseño, planeación, etc.) Los SE pueden ser útiles y clasificados en dos diferentes formas: en soporte de decisiones y en la toma de decisiones.

1.4.1 Soporte de decisiones

Como apoyo a una aplicación computacional

El uso de SE no esta restringido solo al apoyo o reemplazo de expertos humanos, sino que también se puede utilizar de apoyo a programas de cómputo de otro tipo, siendo el SE soporte independiente y la aplicación lo consulta o puede ser

parte integral de la aplicación. Tenemos como ejemplos: que un SE de diseño serviría de apoyo a un programa de CAD para poder dar sugerencias y/o mejoras al diseño del producto en alguna omisión o error de diseño que se tenga. En la práctica existe un SE que se desarrolló para la División de Arnese del grupo ConduMex, el cual da apoyo en el diseño de arneses eléctricos empleados en automóviles Nissan.

Como pre-procesador o post-procesador de una aplicación computacional

Los SE se pueden utilizar para definir los requerimientos (entradas) de alguna aplicación o para la interpretación de resultados entregados por alguna aplicación.

Como apoyo de un experto humano

Sirven de apoyo cuando el experto humano no tiene el suficiente tiempo para atender todos los problemas y/o apoyar en la toma de decisiones. El SE apoya la toma de decisiones y guía a personas que conocen del área sin ser expertas, sin la necesidad de que el experto humano se encuentre presente.

Como apoyo en la documentación de procesos o sistemas

Debido a la arquitectura de los SE, los cuales pueden poseer un mecanismo de explicación, que puede ser empleado en el desarrollo de documentación (de procesos y pasos realizados durante estos) que sirva de apoyo y complemento a una tarea en particular.

1.4.2 Toma de decisiones

Como reemplazo parcial de un experto humano

En este aspecto, se tiene que la principal ventaja de los SE no es el de tomar mejores decisiones que los expertos humanos, sino el apoyar y mejorar la calidad de

las decisiones tomadas por personal no experto. El reemplazo parcial de expertos se da en problemas con alcance definido. Un ejemplo de lo anterior, en la Aseguradora Nippon que tienen un SE para la aprobación de solicitudes de seguros de vida, el SE toma la decisión de aprobación o no-aprobación basándose en conocimientos que fueron alimentados a su base de conocimientos. Esto para casos en los cuales se contengan los elementos que considere el SE, de ser que el caso presente elementos no considerados por el SE, se turnará a los expertos humanos.

Como reemplazo en la documentación de procesos o sistemas

El reemplazo de la fase de documentación de procesos o sistemas por un SE, se tiene cuando el SE procesa el problema completo y por su mecanismo de explicación se pueden obtener todos los pasos y procesos documentados realizados. Lo que puede reemplazar el laborioso trabajo de documentar procesos que pueden ser tardados y complejos.

Conociendo ya un poco más sobre lo que son los sistemas expertos y el porque de los mismos, en el siguiente capítulo se mostrara algo de lo realizado dentro de los sistemas expertos.

CAPÍTULO 2 Algunos sistemas expertos

Dentro de los mismos SE existen clasificaciones que están dadas de acuerdo al tipo de actividad y área en que se desempeñen estos.

2.1 *Sistemas expertos según tipo de aplicación*

Los SE pueden ser de análisis y síntesis. Los SE de análisis son aquellos que parten de un problema dado, realizando un estudio de sus componentes para ofrecer una respuesta. En tanto los SE de síntesis toman una diversidad de elementos que estudia en conjunto para proporcionar una respuesta. Algunos tipos de aplicación se muestran a continuación.

Análisis e Interpolación: Se utilizan para el análisis de grandes cantidades de información y basándose en su inferencia proporcionar recomendaciones.

Predicción: Los SE se utilizan para predecir resultados o deducir consecuencias futuras sobre la base de datos y hechos que se le proporcionen.

Diagnóstico y Depuración: Los SE se utilizan para detectar errores, causas de mal funcionamiento y sugerir posibles acciones correctivas, por medio de

información que se les proporcione a los mismos. Este es el caso de *SEDA* con el que se diagnostican fallas automotrices.

Control / Monitoreo: Se utilizan SE para la inspección de procesos de acuerdo a datos que se le entregan. Para evitar ciertas desviaciones de las normas establecidas y así se tomen medidas preventivas y/o correctivas en tiempo real.

Diseño: Desarrollo de configuraciones para la resolución de algún problema en base y sujetándose a sus restricciones.

Instrucción o tutorial: Ayudan en el proceso de enseñanza-aprendizaje, proporcionando los conocimientos y llevan un seguimiento del aprendizaje del usuario.

2.2 Algunos ejemplos de programas de sistemas expertos existentes

Dentro de esta sección se pretende mostrar parte de la gran diversidad de programas de SE que existen, así como algunas de sus características, funciones y áreas donde son empleados. Con lo cual se observa que los SE son aplicables a diversas áreas del conocimiento y desempeño humano.

SISTEMA EXPERTO	TIPO	AREA DE APLICACIÓN	APLICACIÓN	COMENTARIOS	REFERENCIA
SADEP	Diagnóstico difuso	Energía	Plantas de energía	Interfase para la asistencia en operación de plantas de energía fósil	* http://fenix.cichcu.unam.mx/09574174/sz983981/97000687.html
AEROLID	Supervisión y diagnóstico	Industria Azucarera	Producción de azúcar de remolacha	Desarrolla la labor de control de supervisión en la producción, poniendo particular atención a detección de errores y diagnóstico. Desarrollado en Valladolid, España.	* http://fenix.cichcu.unam.mx/09574174/sz988512/97000900.html
CADOSA	Diagnóstico diferencial	Medicina	Sueño obstructivo Apnoea y condiciones relacionadas	El SE se basa en inferencia difusa y, con ayuda de estudios físicos, pruebas de laboratorio, medición de la saturación de oxígeno y rango del corazón, sugiere tratamiento. Desarrollado en Reino Unido	* http://fenix.cichcu.unam.mx/09574174/sz972771/96000917.html
PSAOC	Análisis	Agricultura	Cultivo de la manzana	Esta formado por módulos de: enfermedades, insectos, manejo de mala hierba, prácticas de horticultura. Desarrollado en el Colegio de Ciencias de la Agricultura de la Universidad del estado de Pensilvania (PENN STATE)	* http://server.age.psu.edu/esdg/PSAOC.htm
Bee Aware	Análisis	Apicultura	Cuidados de las abejas (apiarios)	Esta formado por módulos de: enfermedades, pestes y predadores de las abejas. Desarrollado en el Colegio de Ciencias de la Agricultura de PENNSTATE.	* http://server.age.psu.edu/esdg/BeeAware.html
MAIZE	Análisis	Agricultura	Cultivo del maíz	Desarrollado en el Colegio de Ciencias de la Agricultura de PENN STATE.	* http://server.age.psu.edu/esdg/MAIZE.html
VITIS	Análisis	Agricultura	Cultivo de uva	Desarrollado en el Colegio de Ciencias de la Agricultura de PENN STATE.	* http://server.age.psu.edu/esdg/VITIS.html
CES	Predicción	Clima	Predicción del clima		* http://www.ces.cnhost.com/
ENDS	Diagnóstico	Energía	Plantas geotérmicas		* http://fenix.cichcu.unam.mx/09574174/sz992771/96000991.html
DENDRAL	Deducción	Farmacéutica	Empresas farmacéuticas	Desarrollado en la Universidad de Stanford en 1969. deduce la estructura química molecular de un compuesto orgánico y de datos espectrográficos y de resonancia magnética nuclear.	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html

SISTEMA EXPERTO	TIPO	AREA DE APLICACIÓN	APLICACIÓN	COMENTARIOS	REFERENCIA
MACSYMA	Manipulación simbólica	Matemáticas	Experto en cálculo diferencial e integral	Desarrollado en MIT en 1969, su trabajo lo desarrolla por medio de manipulación simbólica de expresiones algebraicas	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html
MYCIN	Diagnóstico	Medicina	Realiza el diagnóstico y propone terapia para enfermedades de tipo infecciosas	Desarrollado en la Universidad de Stanford en 1970.	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html
PROSPECTOR	Predicción	Minería	Realiza prospección minera	Fue desarrollado por Duda en SRI en 1976. Uno de sus principales logros fue el descubrimiento de un yacimiento de molibdeno valorado en 100 millones de dólares, en el estado de Washington, el que fue confirmado con prospecciones.	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html
INTERNIST	Diagnóstico	Medicina	Medicina interna	Desarrollado en la Universidad de Pittsburgh en 1975. Por abarcar un campo amplio dentro de la medicina, recibió diversas críticas sobre la poca profundidad de los conocimientos médicos, por lo que posteriormente surgió una nueva versión llamada CADUCEUS, la que trata de incluir el razonamiento con base en conocimientos de fisiología y anatomía.	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html
EMYCIN	Diagnóstico	Medicina	Especie de esqueleto para la construcción de otros SE	Con base en EMYCIN se construyeron: PUFF (SE en enfermedades pulmonares), CLOT (SE en problemas de coagulación), HEAMED (SE en psicofarmacología): desarrollado en EE.UU.	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html
ONCOCIN	Diagnóstico	Medicina	Protocolos del cáncer	Desarrollado en la universidad de Stanford, ayuda al médico en el tratamiento y manejo de pacientes cancerosos, en prácticas de quimioterapia.	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html

SISTEMA EXPERTO	TIPO	AREA DE APLICACIÓN	APLICACIÓN	COMENTARIOS	REFERENCIA
R1	Configuración	Cómputo	Configuración de sistemas para PDP y VAX.	Fue desarrollado por la empresa Digital Equipment Corporation, y la misma estima que ahorra 70 millones de dólares anuales	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html
DRILLING ADVISOR	Detección	Geología	Detección de averías en los equipos de sondeo geológico	Fue desarrollado por la empresa Teknowledge a través de su filial francesa Framentec por encargo de Elf-Aquitaine.	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html
AMERICAN EXPRESS	Autorización	Tarjetas de crédito	Creado para autorización de tarjetas de crédito	Fue desarrollado por la empresa del mismo nombre, la misma estima que ahorra 27 millones de dólares anuales	* http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html

TABLA 2.1 Principales Sistemas Expertos identificados.

Fuente: elaboración propia (* búsqueda realizada el 1er semestre de 2000).

2.3 Algo de lo hecho para la industria automotriz

Dentro de la industria automotriz se han ido generando avances tecnológicos en todos sus rubros, desde el diseño de la carrocería hasta los sistemas de tracción. Además se incluye una pequeña computadora que realiza el control de diversos sensores y partes del vehículo. Esto trae como consecuencia, que en el diagnóstico del vehículo (cuando presenta alguna falla), no sólo sea necesario el conocimiento mecánico, sino que además se debe tener un conocimiento experto del funcionamiento electrónico, conocimiento que sólo algunas personas tienen (conocidos como expertos humanos). De lo anterior surge la necesidad de la creación de nuevas herramientas que ayuden en esta tarea, considerando a los SE como una de ellas.

De entre las diversas herramientas existentes para apoyo en el diagnóstico automotriz, se encuentran: tutoriales, programas de apoyo a equipos de diagnóstico y sistemas de diagnóstico.

2.3.1 Tutoriales

Las herramientas con un enfoque de tutoriales, son aquellas que proporcionan una guía de cómo proceder para realizar un diagnóstico. Son utilizados con el fin de enseñar y transmitir una metodología para formar recursos humanos con conocimiento para realizar un diagnóstico automotriz.

En este rubro se encuentra el software creado por *Carleysoftware*⁷, el que proporciona guías para diversos subsistemas del vehículo entre los cuales se

Fuente: ⁷<http://members.aol.com/carpix256/index.html>

encuentran: alineación, ABS, frenos, carrocería, emisiones, sensores, etc.; siendo recomendadas estas guías para preparación del examen de certificación técnica ASE (Automotive Service Excellence).

En cada uno de los módulos se desarrollan explicaciones de los componentes que lo conforman, algunas de sus características así como en algunos casos se muestran imágenes de la parte en cuestión, con algunas indicaciones y nombres de los componentes de la parte.

El módulo de emisiones ofrece algunas explicaciones del por qué se dan las emisiones, así como, cuales son algunas de las causas más frecuentes para que se den éstas y sus posibles soluciones, todo esto para tener una idea de que se debe realizar en la práctica.

En el módulo de sensores se explica el por qué de cada sensor así como ilustraciones de éstos. Esto se aplica para cada uno de los módulos, siendo una guía para adentrarse en el conocimiento del automóvil, y para poder realizar un diagnóstico de acuerdo a ciertos síntomas, lo único que faltaría sería la experiencia y práctica cotidiana.

También existe un curso llamado "*Las emisiones automotrices y sus controles Una guía para el técnico automotriz*"⁸. En el cual se puede encontrar una amplia explicación acerca de emisiones de gases por vehículos automotores, incluyendo los cinco gases que algunos equipos de medición de gases pueden diagnosticar, este curso proporciona conceptos referentes a las partes que intervienen en la producción y/o reducción de cada uno de estos gases, dando una

Fuente: ⁸<http://spin.com.mx/~cbenoit/curso.html>

explicación de cuáles son las causas más frecuentes y qué es lo que se puede realizar para corregir el problema.

El curso anterior, proporciona gráficas en las que se muestra el comportamiento de los gases de acuerdo a las condiciones de la mezcla de combustible-aire (mezclas ricas o mezclas pobres), lo que proporciona elementos para ir delimitando el área donde se puede ubicar el problema. Este curso es de ayuda si pretende empezar a conocer y hacer análisis de problemas de vehículos por medio de las emisiones de gases de los mismos, esto con ayuda de tablas que incluye el curso sobre las emisiones óptimas (el número de partículas por millón de cada gas de acuerdo al modelo, año, del vehículo), sin olvidar que se debe tener el equipo adecuado de medición de gases.

2.3.2 Software para equipo de diagnóstico

Otros sistemas son parte de equipos de diagnóstico, que se utilizan en mediciones de señales de la computadora del vehículo, realizar pruebas con datos y señales proporcionadas por el equipo de diagnóstico para conocer el funcionamiento del auto en ciertas condiciones.

En este tipo de software, se encuentra el desarrollado por parte de las compañías *DEC* e *INJECTOCLEAN*.

Estos sistemas son ayudas en la realización de una mejor y fácil forma de tomar mediciones, algunos de estos sistemas son los desarrollados por la empresa argentina *DEC Automotive Diagnosis Tools*⁹ para su serie de instrumentos de medición. *DEC* tiene software para equipos de medición (escáner) con los cuales se

Fuente: ⁹<http://www.dectools.com.ar/>

pueden realizar mediciones de ciertos elementos del vehículo, tal es el caso de sensores, de señales por parte de la computadora del vehículo (ECM), además de realizar la lectura de códigos de error. Lo que resalta de este software es que permite la identificación del tipo y modelo de ECM que tiene el vehículo y qué podemos medir del mismo, además de incorporar funciones de acuerdo a la norma que se utilice OBD II para la norma ISO (Europea) y SAE (Americana).

Dentro de DEC también se encuentran los analizadores de gases, su software le permite graficar las concentraciones de gases. Se pueden encontrar también los equipos que permiten generar señales para simular ciertas situaciones, siendo algunas señales: de la sonda de oxígeno, del sensor de cigüeñal, del censer Hall, variaciones de revoluciones por minuto (R.P.M.), los pulsos de inyección de tiempo y frecuencia variables; estas son algunas de las características de la diversidad de equipo para mediciones y diagnóstico de la compañía DEC.

En *INJECTOCLEAN*¹⁰ tienen equipo de diagnóstico (para el que venden software) como escáner, analizador de gases y equipos de limpieza de inyectores. Con sus productos se pueden realizar diversas mediciones como simulaciones de ciertos elementos como sensores, esto solo facilita el trabajo en la realización de mediciones y tal vez proporcione una vaga idea de donde puede estar el problema, pero no realiza un diagnóstico.

Los equipos mencionados pueden funcionar tanto de forma independiente como conectados a una computadora. Con lo que se obtiene otra forma de presentación de las mediciones y datos que se recabaron mediante el equipo de diagnóstico; con lo referente al software para ser utilizado con el equipo de análisis de gases, presenta los datos de manera numérica además ofrece la presentación en

Fuente: ¹⁰<http://www.partners.net.mx/injecto/>

gráfica de líneas, gráfica de barras y la opción de generar archivos compatibles con Word o Notepad.

Con lo anterior se tienen herramientas que ayudan y facilitan las mediciones y simulaciones de ciertos procesos, por la forma en que interactúan con la computadora, lo que es una ventaja y ahorro de tiempo al realizar un diagnóstico.

Es notorio que el software para equipo de diagnóstico solo facilita el proceso de adquisición y asimilación de los datos que posteriormente se utilizarán para realizar un diagnóstico del problema y así poder dar una solución al problema.

2.4.3 Sistemas de diagnóstico automotriz

Entre los sistemas de diagnóstico automotriz, el software creado por *AutoTech¹¹* (*Diagnose your vehicle*), ofrece una guía sobre la posible solución a un problema automotriz. este sistema esta enfocado a los usuarios de los automóviles

El sistema diseñado para no-mecánicos, ofrece una gama de modelos de vehículos de los que se debe seleccionar el que se tenga. Luego, se procede a seleccionar uno de los problemas listados (el que se aproxime más al problema real, de no encontrarse el real). A continuación el sistema responde con diálogos que proporcionan una posible causa del problema, o con alguna pregunta y de acuerdo a la respuesta se puede hacer otra pregunta y de acuerdo con las respuestas da un diagnóstico. El que puede ser ampliado para posteriormente dar un posible remedio al problema. El remedio debe de ser corroborado con un mecánico, de no estar de acuerdo el mecánico, el sistema sugiere una segunda opinión antes de que se le efectúe alguna reparación.

Fuente: ¹¹<http://www.autotechsoftware.com/>

Con este sistema solo se obtiene una posible solución basada en un solo problema el cual debe encontrarse en la lista de problemas. para que el remedio proporcionado sea el más cercano al que daría un mecánico. Tomando en cuenta la gran cantidad de combinaciones de síntomas que se pueden dar, el sistema está limitado y no sería muy adecuado para capacitación de mecánicos o para su utilización por estos últimos. Tal como se menciona no esta diseñado para mecánicos.

Además en la industria automotriz, se han desarrollado SE que se enfocan a pequeñas averías y problemas en específico, en ocasiones algunos SE solo han quedado en el campo experimental. Un ejemplo lo encontramos en el sistema desarrollado en 1996 por el Laboratorio de Sistemas Inteligentes (ISL, Intelligent System Laboratory) llamado *Automotive Expert System*, elaborado con el lenguaje CLISP.

Con lo anterior se tiene una idea más clara de los sistemas expertos, con lo que se inicia el análisis para la construcción de S.E.D.A.

CAPÍTULO 3 Análisis para la construcción de un sistema experto

Para llevar a cabo la creación de un SE son considerados diversos pasos de acuerdo a diversos autores y, tipo de problemas que se pretenda resolver. A pesar de no existir una metodología generalmente aceptada, referente a la creación de SE, es aceptado un esquema que consta de tres fases, en la primera se define una reunión y discusión con el o los expertos humanos, esto para delimitar el problema y modos de razonamiento a emplear (la identificación); en la segunda fase es el desglose del formalismo de conceptos y expresiones de conocimiento, así como el tipo de motor de inferencia a usar (la conceptualización y la formalización); en la tercera y última fase, es la creación de la base de conocimientos, al igual que su comprobación y adecuación de valores (la implantación y prueba).

Entre los diversos pasos que se mencionan, los pasos que se consideran fundamentales, de manera desglosada a las tres fases mencionadas anteriormente, son los siguientes:

3.1 Identificación

Se tienen que identificar cuatro puntos: participantes y sus papeles, el problema, los recursos y las metas del problema.

3.1.1 Participantes y sus papeles

Dentro de este punto se definen la(s) persona(s) que integrarán el equipo de desarrollo del SE, se definirá quién o quiénes proporcionarán el conocimiento experto (experto humano) para la creación de la base de conocimiento. Además del o de los ingenieros de conocimiento, que son los encargados del análisis del problema y conocimiento para poderlo plasmar en el SE de una manera adecuada y correcta.

En este caso el experto es un Ingeniero en electrónica con extenso conocimiento y experiencia en el diagnóstico automotriz. El experto y los ingenieros de conocimiento, serán los encargados durante la diferentes fases del desarrollo del SE, de las siguientes actividades:

Experto:

- ✓ Transmitir su conocimiento sobre el diagnóstico automotriz.
- ✓ Mostrar y explicar cómo realiza diagnósticos.
- ✓ Validar el conocimiento que se programa.
- ✓ Validar y probar el SE.

Ingeniero de conocimiento:

- ✓ Identificar las características del problema.
- ✓ Encontrar conceptos que representen al conocimiento.
- ✓ Diseñar estructuras para organizar el conocimiento.
- ✓ Formular reglas que engloben el conocimiento.
- ✓ Establecer etapas de prueba para validación de reglas que organizan el conocimiento.

3.1.2 Identificar el problema

Ya que se escogen los participantes y sus papeles, estos procederán a intercambiar puntos de vista en los diversos aspectos del problema, definición de este, características, así como conceptualizar el problema para poder desarrollar la base de conocimiento.

Un punto importante es clarificar términos y conceptos claves en el tema de diagnóstico automotriz, debido a la diferencia de significados de las expresiones usadas en cada uno de los ámbitos de desarrollo de los participantes.

Después se delimita el problema a tratar. En el diagnóstico automotriz, el automóvil es dividido en diversos sistemas de acuerdo con la función que desempeñan y, éstos a su vez en subsistemas con tareas más específicas, que son:

<i>Sistema</i>	<i>Subsistema</i>
Alimentación de combustible	Bombeo y conducción. Admisión de aire. Inyección de combustible.
Encendido	Toma y elevación de voltaje. Distribución. Generación de chispa
Eléctrico	Almacenamiento y generación de energía eléctrica. Arranque. Alimentación y servicios.
Enfriamiento	Bombeo y circulación de refrigerante. Medición y enfriamiento de la temperatura del refrigerante.

Lubricación	Bombeo y conducción de lubricante. Filtrado de lubricante.
Escape	Expulsión de gases. Reciclado de gases.
Control	Sensores diversos. Computadora.

TABLA 3.1 Sistemas y subsistemas del automóvil.

Fuente: elaboración propia.

De los sistemas antes mencionados, el SE se enfocará a: Alimentación de combustible, Encendido, Eléctrico y Enfriamiento. Con lo que se delimita el problema, esto de acuerdo al experto, son los sistemas con mayor importancia en un diagnóstico de vehículos con inyección de combustible (fuel injection).

Al tenerse unificados conceptos y términos a utilizar por parte de los participantes, es posible realizar una correcta identificación sin temor a cometer errores en la misma y partiendo del primer nivel de diagnóstico de *SEDA*, se tiene que una falla está compuesta por un componente y el problema.

El componente es la parte o elemento del automóvil, o el elemento de algún subsistema que puede presentar uno o varios problemas.

El problema es el origen de un mal funcionamiento en los componentes, el que asociado con algún componente produce una falla, por lo que se pueden asociar diversos problemas a un componente lo que da origen a diversas fallas.

Ya que cada componente presenta problemas diferentes lo que origina fallas diferentes se analiza de manera cuidadosa cada componente para obtener sus problemas asociados y las fallas que se originan de su conjunción.

De lo que el experto parte, para hacer un diagnóstico en dos niveles. En el 1er nivel, se solicitan y observan todos los síntomas que presenta el vehículo, a partir de lo cual que realiza un diagnóstico parcial de acuerdo con su conocimiento y experiencia. Este primer diagnóstico delimita el problema al subsistema que con mayor certidumbre presenta la falla.

El 2º nivel de diagnóstico, que es sobre el que se enfoca el presente trabajo, basándose en el diagnóstico del primer nivel, toma mediciones a elementos del subsistema con mayor certidumbre de presentar la falla, en un orden con el que se pueda reducir el número de mediciones a realizar. Lo que conduce a revisar otro u otros elementos y, de acuerdo a los resultados se puede indicar si algún elemento del subsistema presenta alguna falla y si afecta a otros elementos. De no encontrarse elemento con problema alguno, se procede a realizar mediciones en el subsistema que siga en grado de certidumbre de producir el problema.

3.1.3 Identificar los recursos

Basándose en los resultados de los puntos anteriores se identifican los recursos necesarios para la adquisición del conocimiento, la implantación del sistema experto y la prueba del mismo.

Entre las fuentes de conocimiento que son utilizadas por el experto del área y/o el ingeniero de conocimiento se encuentran: la experiencia en resolución de problemas, libros de texto, ejemplos de problemas con sus soluciones, la experiencia

en problemas análogos, el conocimiento sobre métodos, representaciones y herramientas para la construcción de SE.

De las fuentes de conocimiento posibles se seleccionó a un experto humano. El experto es un Ingeniero en electrónica con amplios conocimientos en la industria automotriz, con una gran experiencia en el diagnóstico automotriz, lo que se corrobora, ya que da cursos sobre el tema a mecánicos y organizaciones que prestan el servicio de diagnóstico automotriz. Además, el experto expresa interés en participar en el desarrollo de *SEDA*, un punto importante para reducir el tiempo en la adquisición del conocimiento.

El tiempo es un recurso importante y crítico, ya que el experto y el ingeniero del conocimiento deben dedicarle bastante tiempo para la elaboración de un prototipo, adicionalmente del tiempo requerido para la revisión y validación del conocimiento programado así como en las correcciones pertinentes, si se encuentra algún error.

Los participantes fijan horarios para realizar las entrevistas requeridas para la adquisición del conocimiento. Así como reuniones donde se observe cómo se realizan diagnósticos. Lo que conlleva fijar reuniones en las que se valide el conocimiento por parte del experto, además de refinar el conocimiento. Los formatos usados para la adquisición de conocimiento se muestran en el Capítulo 5.

Los recursos computacionales, son importantes ya que se deben tener los recursos de software que permitan el manejo de herramientas apropiadas para el desarrollo e implantación del SE. Sin perder de vista la importancia de hardware que soporte de manera eficaz el software a utilizar.

Para utilizar *SEDA* se requiere por lo menos un equipo con procesador 486, memoria RAM de 16Mb, así 30Mb de espacio en disco duro.

En el aspecto de software a utilizar para desarrollo de *SEDA*, se utiliza Level5 Object, el cual, ofrece el desarrollo de una interfaz gráfica amigable, lo que ayuda al uso de *SEDA*, ya que está enfocado a mecánicos, quienes tienen poco contacto con equipo de cómputo. Además incluye un motor de inferencia, que maneja búsqueda hacia adelante y búsqueda hacia atrás, esta última se emplea en el desarrollo del 2º nivel de diagnóstico. Lo anterior se desarrolla con mayor profundidad en el punto 4.3.

3.1.4 Metas del problema

Es conveniente que la identificación de las metas u objetivos se realicen durante la identificación del problema, ya que esto es de gran ayuda para poder discernir entre las metas y las tareas del asunto; proporcionando una ayuda para resolver de mejor manera el problema, y automatizar algunos aspectos de la rutina del experto.

El desarrollo de *SEDA* tiene dos objetivos, el de ser un soporte en diagnóstico automatizado para mecánicos con poca experiencia y conocimiento en el mismo, además de ser una herramienta en la capacitación de mecánicos.

El objetivo de *SEDA* es diagnosticar fallas, sin la necesidad de un experto presente para realizar un diagnóstico de un automóvil de inyección de combustible. De esta forma un mecánico con poca experiencia podrá con apoyo de *SEDA* realizar un diagnóstico y el proceso de reparación. Lo que conlleva un aprendizaje por parte del mecánico.

SEDA se puede utilizar en cursos de capacitación a mecánicos como una herramienta de apoyo, que sirve para que corroboren los conocimientos aprendidos, por medio de pruebas. Siendo con esto un auxiliar para la persona que capacite, ya que dedicará más tiempo a la transmisión de conocimiento.

Con esto se tiene un objetivo secundario, en base a las ventajas que muestra *SEDA*, se pretende se distribuya en talleres mecánicos para realizar diagnósticos.

SEDA se desempeñará recibiendo información proporcionada por el usuario para identificar cuál es la falla, esto se realizará en dos etapas o niveles basándose en una estructura sistémica del automóvil. El desarrollo de esta tesis comprende el segundo nivel de diagnóstico.

Debido a la gran diversidad de marcas de automóviles y existencia de diferencias en sus estructuras, *SEDA* es un prototipo que se encuentra enfocado solamente a automóviles General Motors (GM) a partir del año 1986. Se seleccionó GM por contar en sus vehículos con las estructuras de diseño más completas en elementos electrónicos (tecnología fuel injection), lo que sirve de base para incorporar posteriormente otras marcas de vehículos, que cuentan con una menor complejidad y cantidad de elementos.

3.2 Conceptualización

Durante la conceptualización, se harán explícitos los conceptos clave y sus relaciones, siendo de gran ayuda la creación de diagramas en los que se muestre la relación entre los conceptos para tener permanentemente una base conceptual para el sistema prototipo.

Debemos tener en cuenta el tipo de datos que estarán disponibles, así como los nombres de subprocedimientos, de estrategias, los procesos que envuelven la solución; hay que considerar el flujo de la información, qué información será necesaria para la resolución del problema así como cuál información se usará para la justificación de la solución.

En el diagnóstico automotriz los principales conceptos que se deben comprender son:

- Los componentes o elementos de los sistemas, que son partes como sensores, relevadores, mangueras, bomba de agua, bomba de refrigerante, computadora del vehículo (ECM), válvulas, fusibles, switch, etc., que pueden ser revisados de acuerdo a sus características y forma de funcionamiento.
- Lo que es una falla, que se explica en el punto 4.1.2, que está asociado a los componentes y problemas.
- El concepto de problema, está asociado con los elementos, por ejemplo: el switch de encendido puede presentar el problema de suciedad o de falso contacto lo que genera una falla en la alimentación de voltaje.
- La medición es la toma de lecturas que pueden ser: voltaje, resistencia, amperaje o presión. Estas son utilizadas para verificar el funcionamiento de los elementos.
- El diagnóstico, es la conclusión a que se llega después de analizar los datos proporcionados.

Los anteriores son los conceptos que se utilizan dentro del diagnóstico automatizado. Las etapas de implantación y prueba se encuentran inmersas en los capítulos 4,5 y 6 del presente trabajo.

3.3 Formalización

Durante la formalización se realiza un mapeo entre conceptos clave, subproblemas, características del flujo de información que se aislaron durante la conceptualización. Durante este paso el ingeniero del conocimiento tomará un papel más activo, hablando con el experto sobre las herramientas existentes, las representaciones, y los tipos de problemas que se relacionen con el problema manejado. Describiendo y llenando los requerimientos de cómo el problema puede ser representado dentro de la herramienta que se haya seleccionado. Además los resultados de este paso son un conjunto de descripciones parciales de especificaciones para estructurar el conocimiento.

También se analizarán cada uno de los subproblemas, de lo que partiremos para analizar las posibles herramientas para la construcción de SE, podremos encontrar que para cada subproblema se puede adaptar una herramienta en especial. Motivo por lo que se evalúan las desventajas de seleccionar una sola herramienta, aunque el ingeniero de conocimiento puede así decidirlo para la representación de los subproblemas.

Esta etapa en el desarrollo del *SEDA* se describe en el capítulo siguiente, en el que se genera el tipo de estructura a utilizarse en el 2º nivel de *SEDA*.

3.4 Implantación

Dentro de la implantación se realiza un mapeo del conocimiento formalizado, en el paso anterior, dentro del cuadro representacional asociado con la herramienta que se eligió para el problema. El conocimiento en este cuadro es consistente, compatible y organizado para definir un control particular y flujo de información, este se implanta en un programa ejecutable. El ingeniero de conocimiento desarrolla una representación útil para el conocimiento y usa ésta para desarrollar un sistema experto prototipo.

El desarrollo de un sistema prototipo es un paso extremadamente importante en la construcción del SE, ya que es la parte que se encarga de probar lo adecuado de la formalización de las ideas básicas de soporte.

La etapa de implantación de *SEDA* se muestra con mayor detalle en el Capítulo 5, referente al Segundo nivel de diagnóstico.

3.5 Prueba

En la prueba se cubre la evaluación del sistema prototipo y las formas usadas para la implantación del mismo. Se realiza corriendo el sistema algunas veces con ejemplos y/o casos reales, de principio a fin, para poder determinar las debilidades en la base de conocimiento y la estructura de inferencia. Los elementos que usualmente causan un pobre desempeño es por la falta de ajuste de características de entrada-salida, reglas de inferencia, estrategias de control, y ejemplos de prueba.

Lo anterior, se puede dar por la falta de conocimiento o pobreza del mismo, además de la manera en cómo fue adquirido, ya que pudieron enfocarse

erróneamente las preguntas durante la adquisición del conocimiento. También influye la constitución de las reglas, debido a que la mayoría están relacionadas entre si, si no se plantearon correctamente conducen por rutas erróneas, ya sea porque la premisa no este correctamente planteada y/o la conclusión no sea la correspondiente o no este adecuadamente elaborada de acuerdo a las premisas.

Los últimos pasos se pueden y de hecho se realizan conjuntamente, para conforme se implante el SE se corrijan las fallas y debilidades del sistema, esto asegura un correcto funcionamiento del sistema al término del mismo.

Lo que lleva a tener elementos para iniciar el diseño del sistema experto.

Lo anterior lo podemos ver expresado en el siguiente diagrama, que nos muestra la relación entre cada una de las etapas.

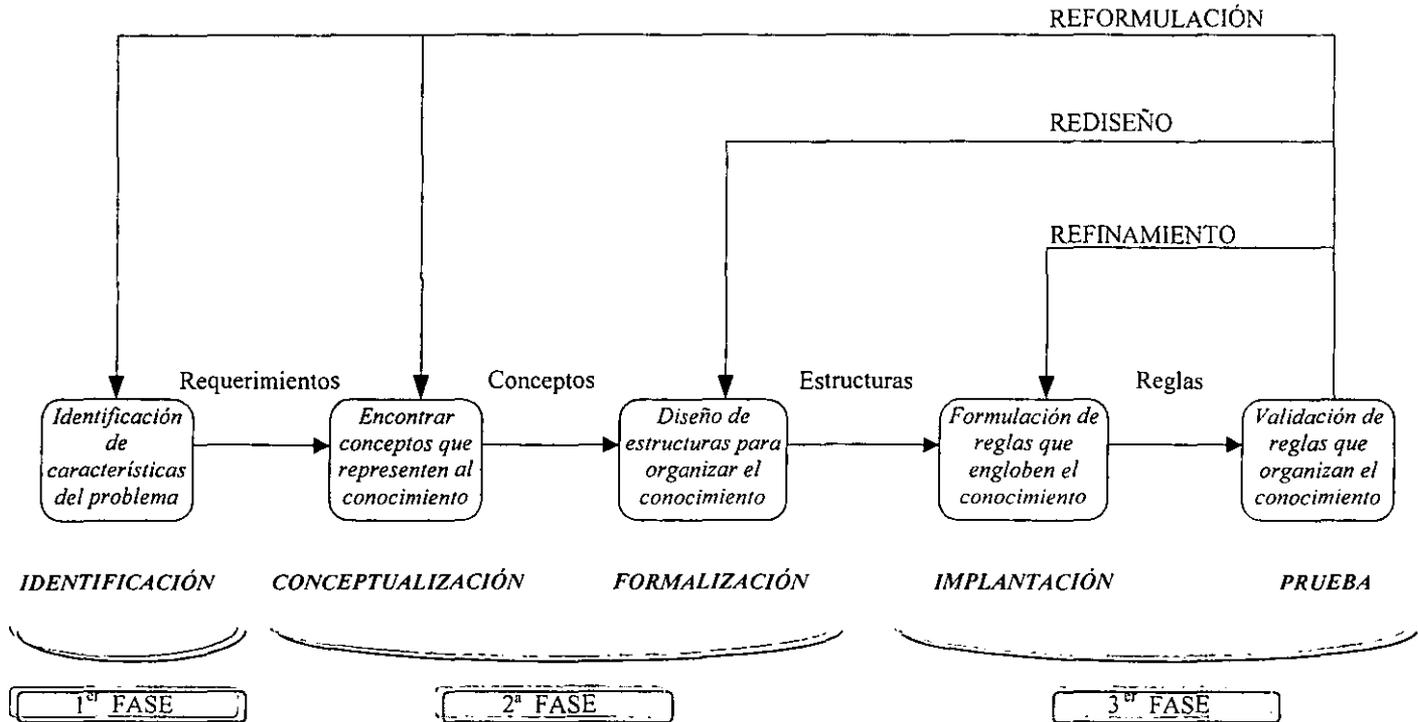


FIGURA 3.1 Etapas en el desarrollo de un sistema experto.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4 *Diseño del sistema experto*

4.1 Fuente de conocimiento

Para la creación y desarrollo de todo sistema experto es requisito indispensable contar con al menos una fuente de conocimiento; para un SE una fuente de conocimiento puede ser algún libro sobre el tema a tratar, un conjunto de resultados generados por un experto humano de los cuales sea posible inferir el conocimiento y forma de razonamiento del mismo, así como, un experto humano quien es una persona que posee elevados conocimientos tanto teóricos como prácticos en alguna área del conocimiento y/o actividad del ser humano, para la resolución exitosa y pronta de problemas que se presentan en está; siendo reducido el número de estas personas por su comportamiento complejo y poco común; lo que para una persona "ordinaria" (no experta en el área de interés) resultaría demasiado complicado, si no es que imposible resolver el problema de manera correcta y si lo llegara a solucionar sería en un periodo de tiempo mucho mayor de lo que tardaría una persona experta en el área.

Para el desarrollo del SE podemos disponer ya sea una *fuentes de conocimiento* o de más *fuentes de conocimiento*, lo cual puede beneficiar la cantidad del conocimiento y experiencia del tema, con el consecuente incremento de la dificultad para su codificación por parte del ingeniero del conocimiento, ya que para un problema en especial pueden existir diversas formas de razonamiento, análisis,

así como conclusiones de acuerdo al número de expertos participantes del proyecto. Determinar el número de expertos que participarán dependerá del ingeniero del conocimiento, el área a la que se enfocará el SE, el conocimiento requerido para el desarrollo del SE así como la disponibilidad del experto o expertos para su participación en el SE.

La *fente de conocimiento* es donde se recaba toda la información, conocimiento y experiencia requerido para la creación de la base de conocimientos del SE, que es una de las partes que da forma al SE, contribuyendo a un mejor desempeño del SE en el grado de cantidad y calidad de los conocimientos adquiridos, debido a lo que es importante la actitud de comprometerse con el desarrollo del SE por parte del experto y con su interés por el mismo. Lo anterior para reducir el tiempo requerido en la captura y, la validación del conocimiento programado y estructurado en el SE ya que está es una de las etapas que requiere un mayor tiempo dentro del desarrollo de un SE.

Con lo anterior se da paso a una mejor interrelación entre el experto y el ingeniero del conocimiento, para una mejor codificación y validación del conocimiento-experiencia acumulada y transmitida por el experto. La codificación y adquisición del conocimiento también depende de la forma y metodología empleadas, y se realiza previo de la adquisición del conocimiento y se adapta en el transcurso del proceso para su mejor funcionalidad.

Para la adquisición del conocimiento necesario para *SEDA* se tiene el apoyo de un ingeniero electrónico que es experto en el diagnóstico y reparación de los sistemas fuel injection, quien está interesado en el desarrollo de *SEDA* ya que le sería de gran ayuda para dar capacitación y reduzca las constantes consultas y asesorías que proporciona por vía telefónica.

En el segundo nivel de *SEDA*, la adquisición del conocimiento en mayor parte se realizó por medio de entrevistas con el experto, llenado de formatos por parte del experto que se comentan por vía telefónica e intercambian por medio de fax , por modificaciones y observaciones hechas a los prototipos de *SEDA* y con visitas al taller para observar la metodología que sigue el experto para la realización de mediciones y pruebas a los diversos elementos plasmados en los formatos de adquisición de conocimiento.

4.2 La inferencia en el 2º nivel de SEDA

La inferencia es el procedimiento que efectúa el razonamiento del experto y que establece la forma y secuencia que se seguirá en la programación.

Se tiene el razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás y el razonamiento por encadenamiento de reglas hacia delante (explicados en la sección 1.2.3), éste último es un proceso de búsqueda dirigido por datos de entrada por lo que es requerido contar con todos los datos relevantes al momento de iniciar la inferencia, ya que parte de hechos primarios y con el uso del conocimiento contenido en las reglas para dirigirse a la meta más favorable de acuerdo a los hechos primarios proporcionados, el proceso de inferencia termina al encontrar una primera meta favorable o cuando ya no sea posible generar nuevas metas. Este tipo de inferencia fue utilizado en el 1er nivel de *SEDA* debido al tipo de análisis y razonamiento empleado por el experto para la resolución de problemas.

En nuestro caso, el 2º nivel de *SEDA*, se emplea el razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás o también conocido como inferencia hacia atrás, el cual es un procedimiento de búsqueda dirigido por las metas en el que no se requiere que toda la información relevante se encuentre disponible al inicio del

proceso de inferencia, ya que la información que no se tenga y se requiera en algún momento de la inferencia será solicitada al usuario para continuar con la inferencia. En este tipo de inferencia son las metas las que dirigen el proceso de razonamiento, ya que se fija la meta a probar, y el conocimiento que se encuentra en las reglas es el que dirige la inferencia, terminando el proceso al haber probado la meta o ya no haber encontrado más hechos que se deban probar.

4.3 Software para desarrollar el 2º nivel de SEDA.

Un punto importante en el desarrollo de SE es el software a utilizar, ya que es por medio de éste y con las herramientas que éste proporcione, que se codificará y programará el conocimiento capturado; un punto importante a considerar para la selección del software son las personas a quien se dirige el SE, que son los que finalmente se interrelacionarán con el SE ya desarrollado, en nuestro caso *SEDA* se enfoca a ser usado por mecánicas automotrices, quienes por lo regular no tienen un contacto estrecho con el uso de computadoras y de tenerlo en la mayoría de los casos su conocimiento y práctica es reducido. En consecuencia, se debe seleccionar un software que proporcione una interfaz muy amigable con el usuario final. Adicional a lo anterior, se requiere un software que permita implantar el razonamiento por encadenamiento de reglas hacia atrás, que es el tipo de inferencia a utilizar en el 2º nivel de *SEDA* de acuerdo con el razonamiento que sigue el experto humano.

Entre el software que se revisó y analizó se encontró que Level5 Object que fue utilizado en el 1er nivel de *SEDA* también cubre los requisitos para el 2º nivel, ya que proporciona una interfaz por medio de ventanas con posibilidad de presentar imágenes, uso de botones, así como de permitir la introducción de información de valores numéricos y de falso o cierto cubriendo con esto el punto del usuario final;

entre tanto Level5 Object permite el uso de reglas en conjunción con una agenda para implantar el razonamiento de reglas con encadenamiento hacia atrás con lo que cumple con el punto de implantación del método de razonamiento.

Por lo que es Level5 Object el software a utilizar en el 2º nivel de *SEDA*, además de contar con los elementos necesarios para poder enlazar ambos niveles de *SEDA* sin la necesidad de utilizar software adicional.

4.4 Estructura de la programación en el 2º nivel de SEDA.

La estructura de la programación es la forma en cómo se designa y estructura el conocimiento en *SEDA*. Para la representación de conocimiento existen diversas estructuras simbólicas, tales como:

- Predicados lógicos.
- *Reglas de producción.*
- Redes semánticas.
- Marcos.
- Scripts.

En el 2º nivel de *SEDA* por la forma en que el experto realiza las pruebas e inferencias la mejor manera de implementar el conocimiento es por medio de reglas de producción, que tiene una estructura de la siguiente forma:

Si <antecedente> Entonces <conclusión1> de lo contrario <conclusión2>

En donde el *antecedente* se refiere a las condiciones de cierta situación específica, mientras la *conclusión1* es la consecuencia o acción a realizar de ser

cumplido satisfactoriamente el *antecedente*, de no ser así la consecuencia o acción a realizar es la *conclusión2*, se puede omitir la *conclusión2*.

Las reglas de producción se interrelacionan y disparan por medio del método de inferencia de encadenamiento de reglas hacia atrás, con el empleo de la herramienta agenda de Level5 Object. Se incluye un apéndice con un parte del código del subsistema de Bombeo y conducción.

En cada subsistema de *SEDA* (presentados en el punto 3.1.2 del trabajo) de acuerdo con el experto se parte de una medición inicial, que es la que permite ir delimitando el problema y de esta forma se reducen los elementos del sistema automotriz a probar y, en consecuencia el disparo de reglas nos guía a una meta del problema de acuerdo a los valores que se le proporcionaron durante el proceso de inferencia.

La estructuración del conocimiento en el 2° nivel de *SEDA* se realiza por medio de árboles de búsqueda de falla, en los que se expresa de manera esquemática el conocimiento, sobre éstos se profundizará en el capítulo siguiente.

CAPÍTULO 5 *Segundo nivel de diagnóstico*

En este capítulo se explicará de que forma se realiza la captura del conocimiento experto para su estructuración y posterior implantación por medio de reglas de producción para la creación de la base de conocimiento; así como características de las mediciones que se emplean para la introducción de información a los subsistemas del 2° nivel de *SEDA* para realizar el diagnóstico.

5.1 Mediciones

Las mediciones en el 2° nivel de *SEDA* son de diversos tipos, de acuerdo al componente que se requiera probar, se realizan mediciones de voltaje, amperaje, resistencia eléctrica, presión, frecuencia, longitud, así como corroboraciones visuales del estado y conexión de ciertos elementos.

Para realizar las mediciones eléctricas y de continuidad eléctrica en la mayoría de los casos es suficiente con la utilización de un multímetro normal, aunque en ciertas ocasiones se requiere contar con la capacidad de medir frecuencias; para obtener mediciones de presión se emplea un barómetro; en los casos que se requieren mediciones métricas ya sea para corroborar la calibración de algún componente o realizar la misma, se emplea un calibrador o vernier; con cada uno de los instrumentos se siguen las medidas, indicaciones y cuidados respectivos

para realizar de manera correcta las mediciones en conjunción con las características de los componentes del vehículo a probar.

5.2 *Captura de conocimiento experto*

La captura de conocimiento experto para el 2º nivel de *SEDA* es planteado desde un inicio por medio de entrevistas personales con el experto humano, para determinar el procedimiento que sigue para la aplicación del conocimiento e ir capturando el conocimiento. Agregando a lo anterior tablas de componentes que contienen los elementos a probar o medir en cada uno de los subsistemas que por medio de preguntas al experto humano se rellenan con los tipos de mediciones posibles así como con las acciones a tomar de acuerdo a los rangos de valores que se obtienen de las mediciones en cada uno de los elementos.

Con el conocimiento obtenido de las entrevistas, así como de la observación del experto y apoyo de las tablas de componentes generadas, se estructura el conocimiento en forma de *árboles de búsqueda de fallas* que son la base previa para la realización de la implantación del conocimiento.

En la etapa de prueba y validación, el experto realiza diversas pruebas introduciendo diversos valores al subsistema y corroborando que el resultado que proporciona el subsistema sea igual o por lo menos lo más semejante a la respuesta que él daría a la misma situación, de ser distinta la meta global o alguna de las metas intermedias, se verifica el conocimiento que se ha estructurado para hacer las adecuaciones pertinentes en la estructuración e implantación del mismo, esto con el fin de refinar el conocimiento y hacer que el sistema emule de la mejor forma posible al experto.

La estructuración e implantación del conocimiento se realiza con base y sobre los árboles de búsqueda de fallas en los que se indica la secuencia de las mediciones y revisiones a realizar dentro del subsistema seleccionado, y las tablas de componentes. En los puntos subsecuentes se mostrará un árbol de búsqueda de fallas y una tabla de componentes correspondientes al subsistema de Bombeo y Conducción que es parte del sistema de Alimentación de Combustible.

5.2.1 Árboles

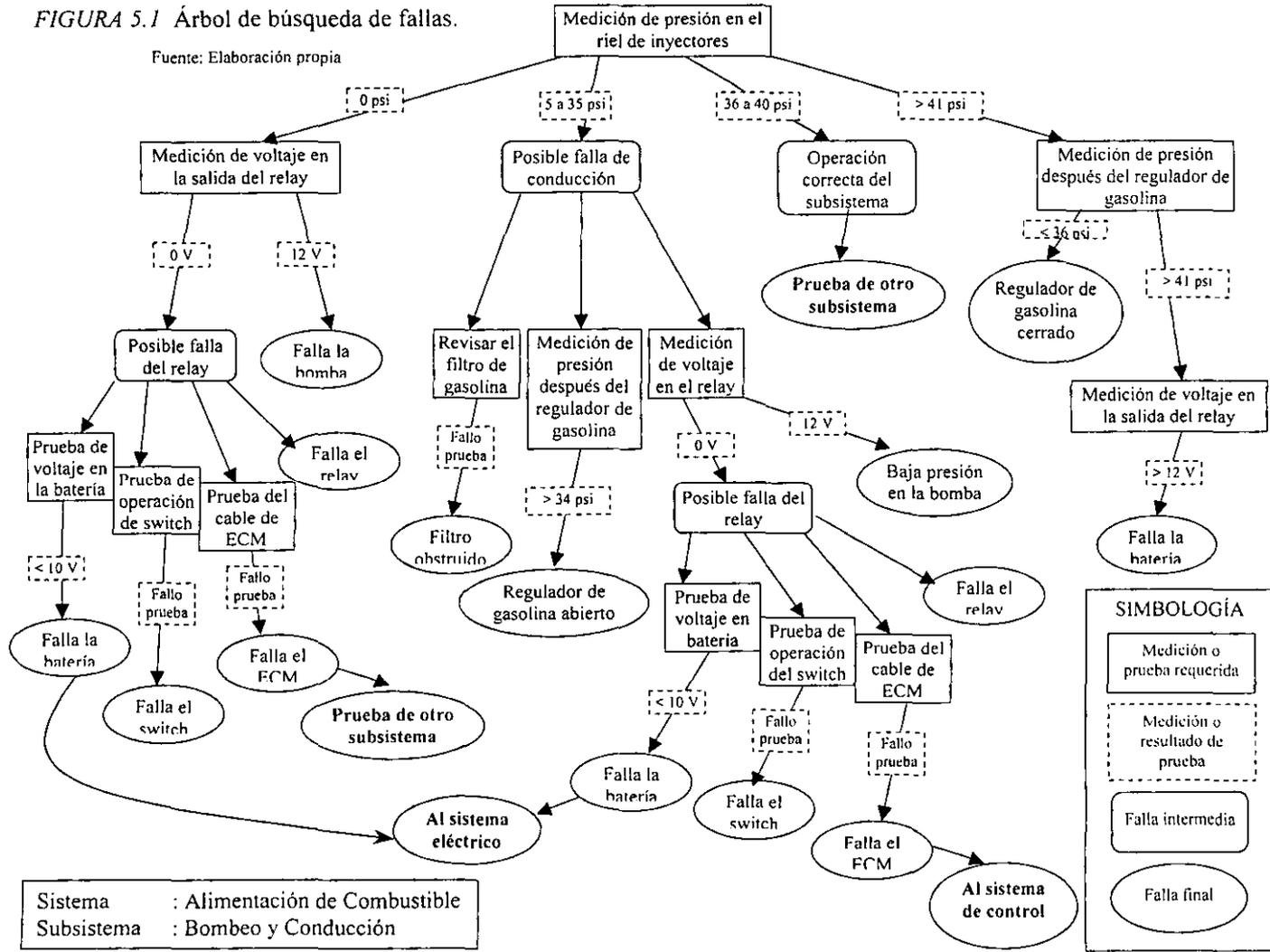
En el 2º nivel de *SEDA* después de haber conceptualizado el conocimiento se procedió a la formalización del mismo, para realizar la formalización la estructura mas adecuada para el conocimiento capturado en los esquemas de tabla, es por medio de árboles, que llamamos *árbol de búsqueda de fallas* en el se plasma el conocimiento y su interrelación dependiendo del valor de la información que se proporcione durante la ejecución del subsistema.

La estructura de árbol también proporciona la forma en como se realizará el método de razonamiento, ya que de acuerdo a información que se solicitará durante la ejecución del subsistema, se puede definir que regla se encadenará y por consecuencia, las acciones que se tomarán.

A continuación en la figura 5.1 se muestra el árbol de búsqueda de fallas para el subsistema de Bombeo y conducción perteneciente al sistema de Alimentación de Combustible.

FIGURA 5.1 Árbol de búsqueda de fallas.

Fuente: Elaboración propia



5.2.2 Esquemas

Un esquema a partir del cual se inicia la captura del conocimiento y sirve de base para generar los árboles de búsqueda de falla, es por medio de una tabla que contiene los componentes que integran a cada subsistema, con los correspondientes tipos de mediciones que es posible realizarles, a lo que se agregan los posibles resultados a obtener y de acuerdo a éstos, las acciones que corresponde efectuar.

En la etapa de prueba de los subsistemas, cuando el experto localiza alguna incongruencia de la información proporcionada con la acción realizada, se procede a verificar los rangos y acciones contenidos en las reglas para refinar el conocimiento, siendo plasmadas estas adecuaciones en los esquemas y realizadas las modificaciones pertinentes al árbol de búsqueda de fallas.

A continuación se muestra el esquema para el subsistema de Bombeo y conducción perteneciente al sistema de Alimentación de Combustible que se utilizó para generar el árbol de búsqueda de fallas antes mostrado. Contiene los elementos del subsistema indicando su prioridad, que es el orden en que el experto realiza las mediciones y pruebas de los mismos, así como los resultados posibles de acuerdo con el elemento y las acciones a realizar o conclusión a que se llega.

ELEMENTO	PRIORIDAD	MEDICIÓN	RESULTADOS POSIBLES	ACCIONES O CONCLUSIONES
RIEL DE INYECTORES	1	Presión	0 psi	Medición de voltaje a la salida del Relay
			De 5 a 35 psi	Pósible falla de conducción, revisar: filtro de gasolina, medir presión después del regulador de gasolina, medir el voltaje del relay
			De 36 a 40 psi	Correcta operación del subsistema Probar otro subsistema
			Mayor a 41 psi	Medición de presión después del regulador de gasolina
RELAY	2	Voltaje	Igual a 0 V	Posible falla del relay, revisar: voltaje de la batería, prueba de operación del switch, probar el cable que conecta con el ECM.
			12 V	Baja presión de la bomba o falla la bomba
			Mayor a 12 V (presión en riel de inyectores mayor de 41 psi)	Falla la batería
BATERÍA	3	Voltaje	menor a 12 V 12 V	Falla la batería o la batería no tiene carga Revisar operación del switch
SWITCH	4	Funciona	Sucio	Limpiar
			Dañado	Switch en mal estado
CABLE ECM	5	Ω / Continuidad	Alta impedancia	El cable se encuentra dañado
			Continuidad	Cable en buen estado, falla el relay
FILTRO GASOLINA	6		Obstruido	El filtro esta dañado, cambiar
			No obstruido	El filtro esta en buen estado, medir presión después del regulador de presión

REGULADOR DE GASOLINA	7	Presión	Mayor a 34 psi (presión en riel de inyectores de 5 a 35 psi)	Regulador de gasolina abierto
			Menor a 38 psi (presión en riel de inyectores mayor de 41 psi)	Regulador de gasolina cerrado
			Mayor a 41 psi (presión en riel de inyectores mayor de 41 psi)	Medir voltaje en el relay

TABLA 5.1 Características de los elementos del subsistema de Bombeo y Conducción.

Fuente: elaboración propia.

5.3 Representación del conocimiento experto

Lo que proporciona a los sistemas expertos una alta capacidad para la solución de problemas del mundo real es la cantidad y calidad del conocimiento contenido en la base del conocimiento. Por lo que si queremos que un sistema experto se desempeñe exitosamente en el mundo real, entonces se debe proporcionar una gran cantidad de conocimiento así como de la mejor calidad.

Entre las diversas formas para la representación del conocimiento y la que mejor se adecuó al desarrollo del 2º nivel de *SEDA* es por medio de las reglas de producción, por lo que *SEDA* se considera como un sistema basado en reglas. La estructura general de una regla de producción es la siguiente:

Si <condición> Entonces <conclusión1> de lo contrario <conclusión2>

En la que de ser verdadera la *condición* se ejecuta la *conclusión1* de lo contrario se ejecuta la *conclusión2*. Cabe mencionar que la condición puede ser una proposición compuesta por proposiciones simples combinadas mediante conectivos lógicos.

Los conectivos lógicos utilizados son los mismos que se usan en la lógica del cálculo proposicional:

*Conjunción	(AND)
*Disyunción inclusiva	(OR)
*Disyunción exclusiva	(XOR)
*Negación	(NOT)

A continuación se muestran algunas de las reglas utilizadas en el subsistema de Bombeo y Conducción.

```
RULE 1 presión nula en riel
IF X presión riel en Baja OF Var SSB y C = 0
THEN presión nula en riel OF SSBombeo y conducción
ELSE presión nula en riel OF SSBombeo y conducción := FALSE
AND title OF main window := "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SEDA "
```



```
RULE 2 presión baja en riel
IF X presión riel en Baja OF Var SSB y C > 5
AND X presión riel en Baja OF Var SSB y C < 36
THEN baja presión en riel OF SSBombeo y conducción
ELSE baja presión en riel OF SSBombeo y conducción := FALSE
```



```
RULE 2A filtro de gasolina tapado
IF X filtro de gasolina tapado OF Var SSB y C IS Sí
THEN FILTRO DE GASOLINA tapado OF SSBombeo y conducción
ELSE FILTRO DE GASOLINA tapado OF SSBombeo y conducción := FALSE
```

FIGURA 5.2 Algunas reglas del subsistema de bombeo y conducción.

Fuente: Elaboración propia

5.4 *Diagnostico en los subsistemas*

El diagnóstico en los subsistemas se efectúa al ir introduciendo información que solicita el SE, con esta información realiza el proceso de inferencia durante el cual se generan metas parciales asociadas con respuestas parciales y disparando las reglas adecuadas para generar nuevas metas, este proceso continua hasta el momento que se llega a una meta final, que conlleva a la presentación de una conclusión en la que se engloban las respuestas parciales.

El proceso anterior se realiza para cada uno de los subsistemas automotrices, teniendo en cuenta que en ciertas circunstancias en que el subsistema en revisión no puede llegar a una meta final este realiza la ejecución de algún subsistema más adecuado a la resolución del problema.

CAPITULO 6 Navegación

6.1 Instalación de SEDA

Para realizar la instalación de *SEDA* (1^{er} y 2^o nivel de diagnóstico) es necesario crear una carpeta en el directorio raíz con nombre *SEDA*

C:\SEDA

Dentro de esta carpeta se copiarán los archivos contenidos en el disco compacto, de los cuales se copiara el acceso directo que tiene el nombre de *SEDA* al escritorio de windows



FIGURA 6.1 Icono de acceso a *SEDA*.

Fuente: Elaboración propia

Con esto queda instalado *SEDA* y el nuevo icono es el acceso al 1er nivel de *SEDA* al dar doble clic en el, lo que se detalla a continuación.

6.2 Ejecución

Por medio del acceso directo que se copió al escritorio de windows se realiza la ejecución de *SEDA*



FIGURA 6.1 Icono de acceso a *SEDA*.

Fuente: Elaboración propia

Al doble clic sobre el icono se muestra la siguiente ventana, que solicita se introduzca el año del vehículo a diagnosticar después de lo cual se debe presionar el botón con la etiqueta "Iniciar" para proceder a la captura de síntomas.

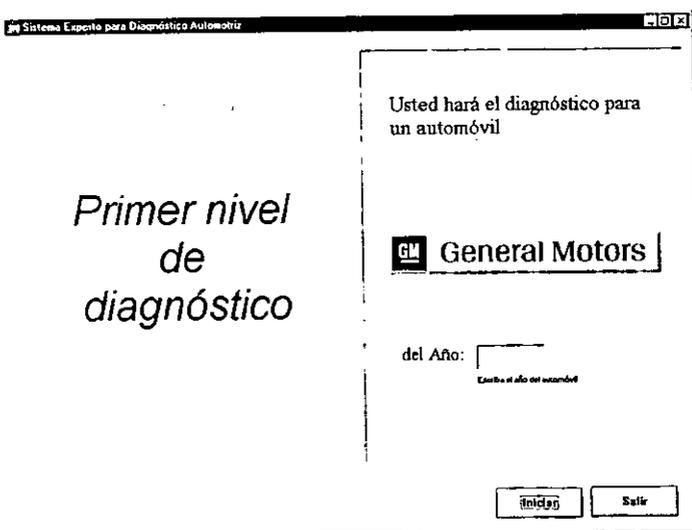


FIGURA 6.2 Pantalla principal de *SEDA*.

Fuente: Elaboración propia

6.2.1 Captura de síntomas del 1er. Nivel

La siguiente ventana cuenta con las siguientes opciones:

- En primer lugar capture la información en cada uno de los estados, presionando el botón correspondiente.
- Al terminar de capturar la información, seleccione en cada estado la opción de **Ok** mostrada en la parte superior izquierda para regresar al menú principal.
- Al finalizar la captura de información, presione el botón con la leyenda **"Diagnosticar"** para obtener e diagnóstico preliminar.
- La opción **"Nuevo Diagnóstico"** le permite iniciar el diagnóstico de otro vehículo.
- La opción **"Verificar datos del auto"** le permite verificar y cambiar el modelo (año) del vehículo en diagnóstico.
- Con la opción **"Salir"** termina la ejecución de **SEDA**

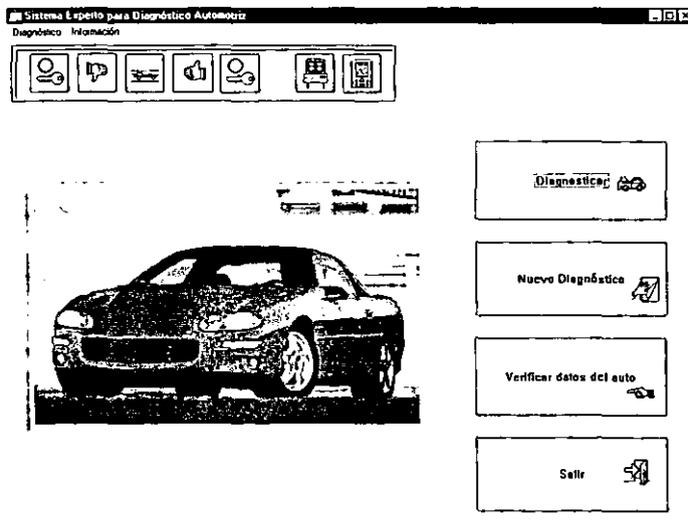


FIGURA 6.3 Pantalla con el menú principal.

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la captura de información en cada uno de los estados se seleccionarán los estados en los cuales se tengan síntomas. Más adelante se muestra la ventana del estado “Al Dar Marcha” y parte de las restantes ventanas en que se indica el nombre del estado y una breve descripción del mismo en la parte inferior izquierda.

Al dar Marcha: Este estado de operación se presenta desde que se activa el switch, hasta que el motor empieza a andar (el automóvil entra en funcionamiento).

En baja: Este estado se conoce también como ralenti y se refiere al periodo en el que el automóvil esta funcionando pero sin movimiento, en ese momento el motor presenta de 700 a 800 RPM.

Al operar: este estado de operación se presenta cuando el automóvil esta en movimiento. En este momento el motor puede tener desde 900 hasta 5000 RPM.

En alta: Este estado de operación también llamado crucero, se presenta cuando se acelera a fondo y el auto esta sin movimiento o con un movimiento mínimo (forzando al auto). En este momento el motor presenta de 2000 a 3000 RPM.

Al apagar: En este estado de operación se refiere al momento en el cual el motor deja de funcionar debido a que se cerró el switch.

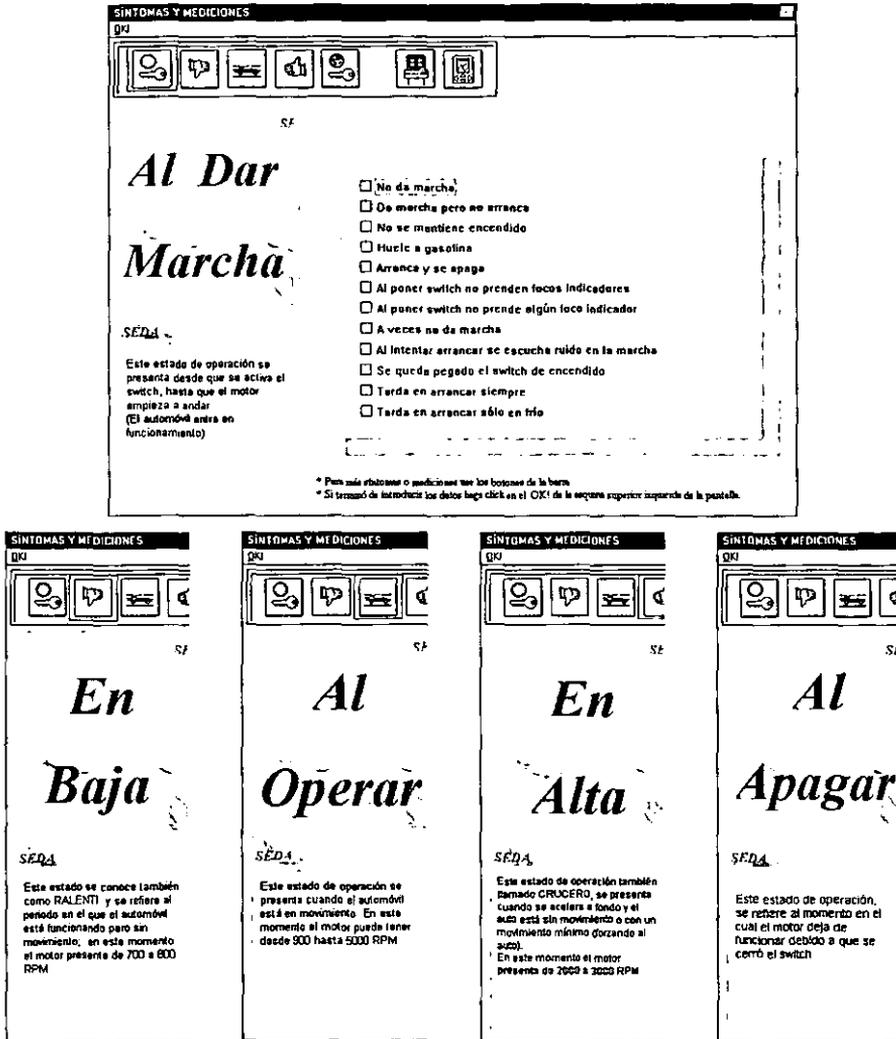
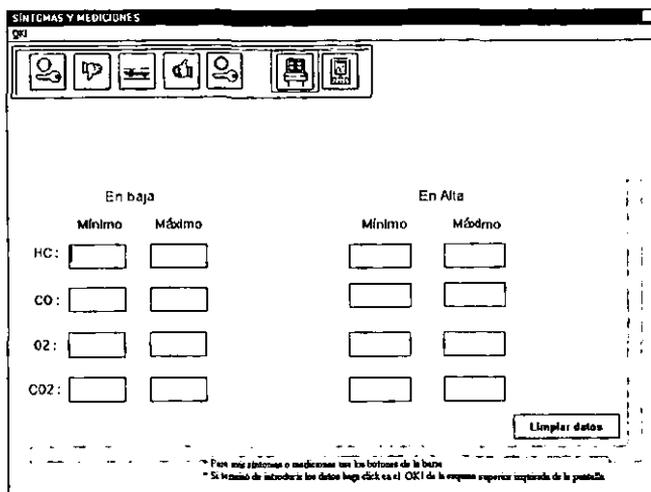


FIGURA 6.4 Pantallas de captura de síntomas.

Fuente: Elaboración propia

Adicional a los estados del vehículo se cuenta con las ventanas de lectura del analizador de gases para proporcionar mediciones que pueden ayudar a dar una mejor respuesta, cabe mencionar que la información solicitada en esta ventana es opcional.



SINTOMAS Y MEDICIONES

OKI

En baja

	Mínimo	Máximo
HC:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
CO:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
O2:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
CO2:	<input type="text"/>	<input type="text"/>

En Alta

	Mínimo	Máximo
	<input type="text"/>	<input type="text"/>

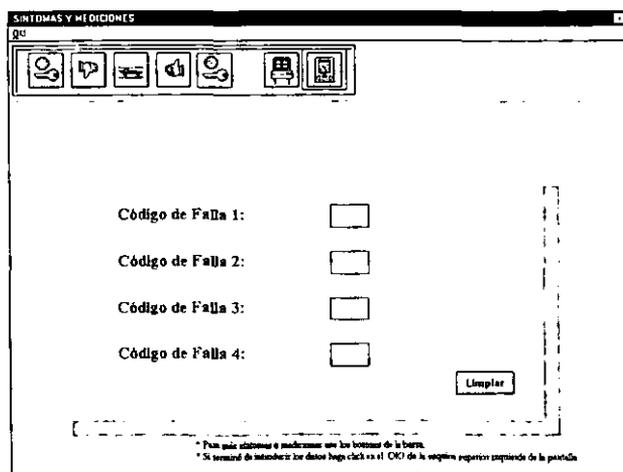
Limpiar datos

* Para más síntomas o mediciones use los botones de la barra.
* Si terminó de introducir los datos haga click en el OKI de la esquina superior izquierda de la pantalla.

FIGURA 6.5 Pantalla de captura de lecturas del analizador de gases.

Fuente: Elaboración propia

Se cuenta también con la ventana de código de fallas, los que son proporcionados por un escáner para diagnóstico automotriz, mismos que de la misma forma que los de la ventana anterior son opcionales.



SINTOMAS Y MEDICIONES

OKI

Código de Falla 1:

Código de Falla 2:

Código de Falla 3:

Código de Falla 4:

Limpiar

* Para más síntomas o mediciones use los botones de la barra.
* Si terminó de introducir los datos haga click en el OKI de la esquina superior izquierda de la pantalla.

FIGURA 6.6 Pantalla de captura de códigos de falla.

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Diagnóstico de 1er. del Nivel

El 1er nivel de *SEDA* nos proporciona un diagnóstico a partir de los síntomas introducidos y de acuerdo al método de inferencia utilizado (encadenamiento de reglas hacia adelante) una meta, en nuestro caso el orden en que los subsistemas son más factibles de contener la falla que origina los problemas y síntomas.

Diagnóstico (primer nivel)
Diagnóstico

Diagnóstico por sistemas

Alimentación de combustible	Eléctrico
Bomba y conducción 0	Alim. y gen. de energía elec. 0
Inyección de Combustible 0	Arranque 0
Admisión de aire 0	Alimentación y servicios 0
Encendido	Enfriamiento
Toma y elevación de voltaje 0	Bom. y circul. del refrigerante 0
Distribución 0	Med. temp. y enfriam del refriger. 0
Generación de chispa 0	

FIGURA 6.7 Pantalla que muestra el diagnóstico por sistemas del primer nivel.

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 El 2º Nivel de diagnóstico

El 2º nivel de *SEDA* al que se enfoca este trabajo, parte de las premisas proporcionadas por el 1er nivel de *SEDA*, que indica qué subsistema debe ser el primero en revisarse. La ejecución del 2º nivel se realiza presionando el botón del subsistema que tenga mayor posibilidad de contener la falla, que se encuentra en la ventana de diagnóstico por sistema del 1er nivel de *SEDA*

A continuación se muestra la ventana de inicio del subsistema de “*Bombeo y Conducción*”. Esta ventana es similar para cada uno de los subsistemas; en ella se muestran nombres del sistema y subsistema a evaluar, así como los componentes característicos del subsistema; al presionar el botón con la etiqueta “*INICIAR*” se pasa a las ventanas de captura de mediciones.

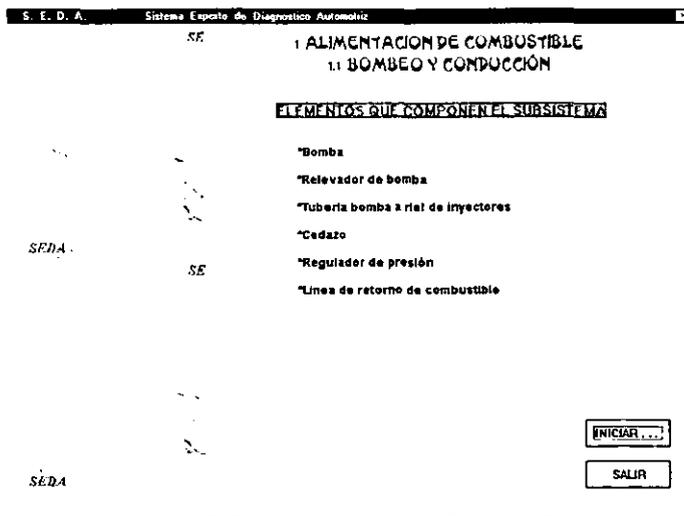


FIGURA 6.8 Pantalla de inicio para el subsistema de alimentación de combustible, del segundo nivel de *SEDA*.

Fuente: Elaboración propia

6.2.3.1 *Captura de mediciones*

La captura de mediciones se realiza por medio de ventanas como las mostradas a continuación. Los tipos de mediciones son diversas, entre otras: presión (psi), voltaje (volts), resistencia (Ω), así como la realización de verificación o mediciones que se contestan de manera afirmativa o negativa (Sí/No).

En cada solicitud de medición se muestra una imagen del sistema con una flecha indicando la parte donde se encuentra el componente a medir en un recuadro del lado izquierdo y, un mayor detalle del componente a medir en un recuadro que se ubica en la parte superior-derecha, instrucciones para la obtención de la medición requerida en el momento (en la parte inferior derecha) y, donde se introducen las mediciones así como una leyenda con las unidades en que se deben introducir los datos en la parte central del lado derecho. De ser correctas las mediciones introducidas se procede a presionar el botón con la leyenda "*Aceptar el valor*" para continuar con la captura de mediciones o que se muestren las conclusiones, según sea el caso.

Las imágenes son mostradas con el fin de guiar al usuario a ubicar de manera más fácil el componente a medir, lo cual presupone se está proporcionando capacitación al usuario para próximas mediciones o éste está validando su conocimiento.

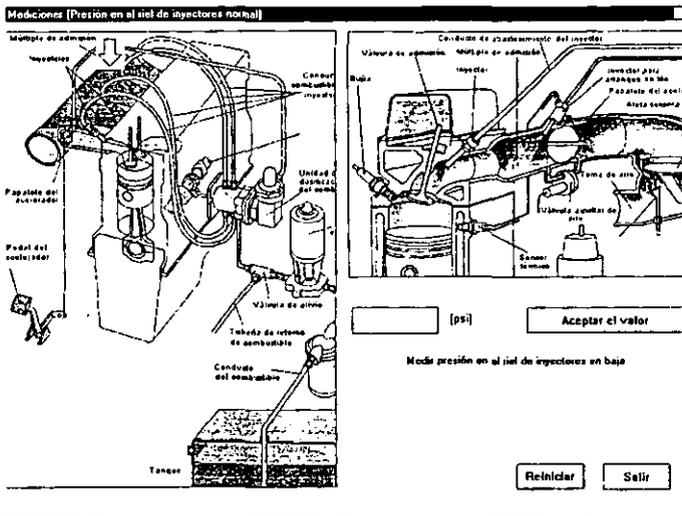


FIGURA 6.9 Solicitud de medición de presión en el riel de inyectores en baja.

Fuente: Elaboración propia

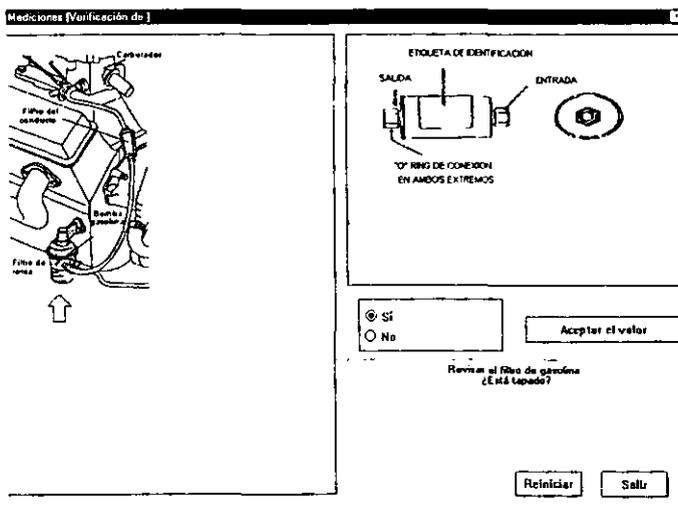


FIGURA 6.10 Verificación de componente, revisar el filtro de gasolina.

Fuente: Elaboración propia

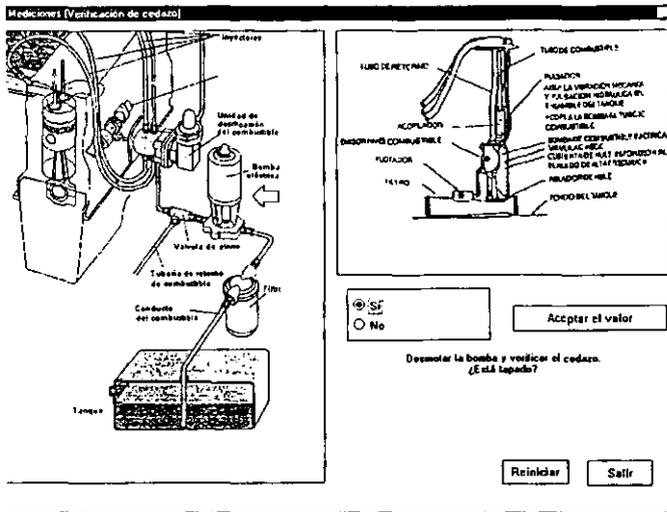


FIGURA 6.11 Verificación de componente, se pide se desmonte la bomba de gasolina y se revise el cedazo.

Fuente: Elaboración propia

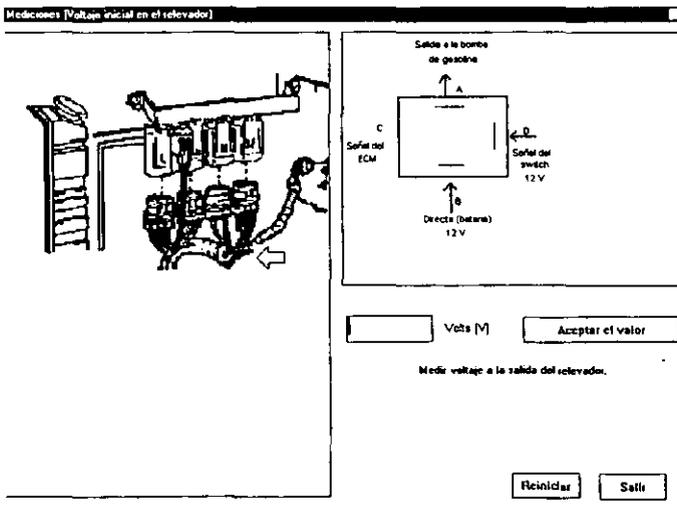


FIGURA 6.12 Solicitud de medición de voltaje, medir el voltaje a la salida del relevador.

Fuente: Elaboración propia

6.2.3.2 Diagnóstico de 2º nivel

Basándose en las mediciones proporcionadas al subsistema, este emite una serie de conclusiones que indican las condiciones en que se encuentran los componentes del vehículo, así como el componente que tiene una falla y cuál es la falla.

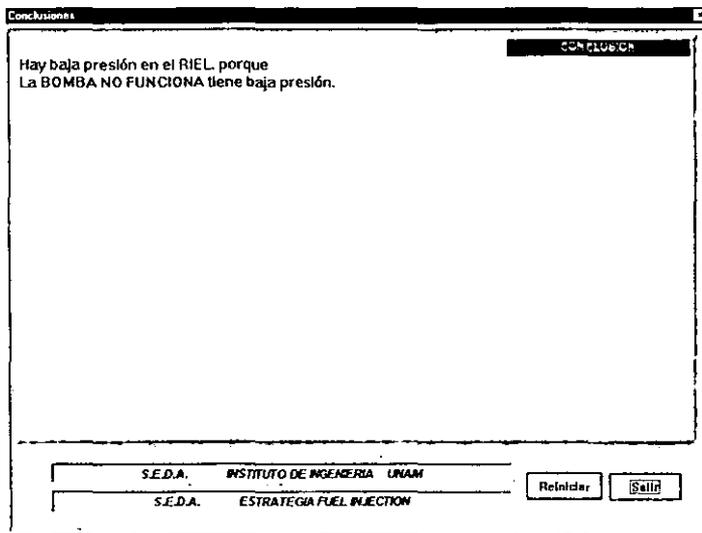


FIGURA 6.13 Indica que la bomba no funciona por que en el riel de inyectores se tiene baja presión.

Fuente: Elaboración propia

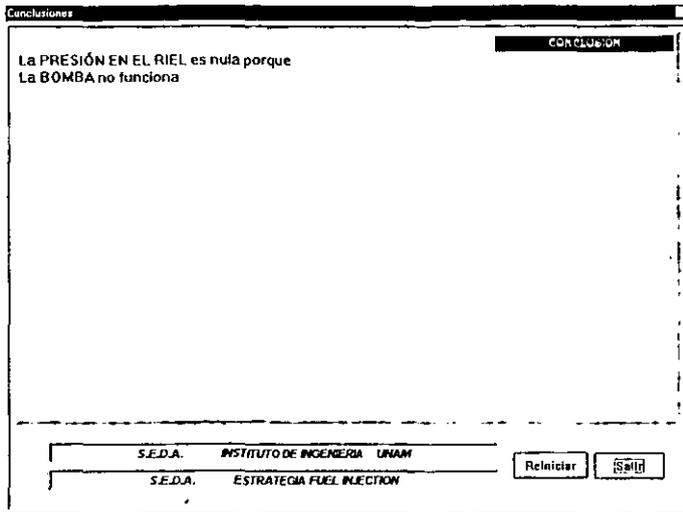


FIGURA 6.14 Indica que la bomba no funciona por que no existe presión en el riel de inyectores.

Fuente: Elaboración propia

En la ventana de conclusión, se tiene en la parte inferior-derecha dos botones, presionando el botón etiquetado con "Reiniciar" se inicia de nuevo la captura de mediciones en el mismo subsistema, esto por si es requerido volver a realizar alguna medición a causa de alguna adecuación o corrección en los componentes y, el botón etiquetado con "Salir" cierra el subsistema para mostrarnos la venta de diagnóstico del 1er nivel por si se quisiera revisar algún otro subsistema.

CONCLUSIONES

Los SE son parte de la Inteligencia Artificial, que son sistemas que emulan el comportamiento de personas expertas en áreas del conocimiento humano, lo que se puede aplicar de diversas formas, para predecir, interpretar, monitorear, controlar, diseñar, impartir instrucción inteligente, *diagnosticar*, entre otras. En este caso se ha empleado para el diagnóstico automotriz.

La construcción del SE se ve justificada, ya que hay pocas personas expertas en el diagnóstico automotriz, en especial en lo relacionado con la tecnología fuel injection.

Además, dado el avance en el desarrollo de esta tecnología es requerido que se capaciten y reafirmen conocimientos de los mecánicos. En este sentido, un SE es una herramienta que puede ayudar para tales fines y que debido a sus ventajas tendrá el conocimiento disponible sin importar horarios o condiciones extenuantes de trabajo.

Sin importar el tipo de SE elaborado, este ha de aportar beneficios al área a la que se destina, en nuestro caso *SEDA* aporta una herramienta de apoyo del diagnóstico automotriz a mecánicos que no poseen una basta experiencia y

conocimientos en su campo, así como una herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje en cursos que se proporcione a los diversos mecánicos interesados en ampliar su experiencia y conocimiento para brindar un mejor servicio a sus clientes; apoyando la validación y comprobación del conocimiento aprendido por dichos mecánicos.

En este segundo nivel de *SEDA* se refina el diagnóstico que es proporcionado por el primer nivel, ya que proporciona la metodología y conocimiento del experto humano, que a partir de la certidumbre de saber en que subsistema se encuentra falla, emprende una serie de mediciones que proporcionen una ruta y guía para encontrar su origen, con lo que el usuario podrá ir aprendiendo con el uso de *SEDA* mientras resuelve problemas de diagnóstico. Este refinamiento debido en gran medida a la experiencia y conocimiento del experto humano apoya a los mecánicos a realizar un mejor diagnóstico sin la necesidad de estar cambiando partes al azar para “encontrar” la falla, lo cual trae como consecuencia una pérdida de tiempo en cada uno de estos cambios así como el gasto excesivo en la compra de las partes que en la mayoría de los casos no es necesario que se cambien ya que solo se encuentran en algunos de los casos sucias o en algunos otros el mal desempeño de la parte es propiciada por alguna otra que realmente se encuentra dañada y que le proporciona señales de entrada erróneas.

En un futuro este proyecto se puede ver enriquecido por la incorporación de otras marcas de vehículos para ampliar aun más el alcance del diagnóstico que proporciona *SEDA*, así como por la adecuación de medios para proporcionar mediciones de gases, códigos de falla, por medio de conexiones al vehículo.

Un punto adicional de relevancia en nuestro tiempo es implantar ambos niveles de *SEDA* en una página web para hacer más accesible su uso a diversos usuarios que se encuentren en lugares distantes y/o que las condiciones en que deban

realizar el diagnóstico no sean propicias para realizar una consulta ya sea personal o vía telefónica con el experto en diagnóstico automotriz.

APÉNDICE

En el presente apéndice se muestra parte del código prl (lenguaje de producción de reglas) del subsistema de Bombeo y conducción.

```
CLASS Elementos Subsistemas
  WITH Instrucciones STRING
    ARRAY SIZE 20
  WITH Conclusiones STRING
    ARRAY SIZE 25

CLASS SSBombeo y conduccion
  WITH BOMBA baja presion SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH BOMBA no funciona SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH CEDAZO DE LA BOMBA tapado SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH REGULADOR DE PRESION cerrado SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH REGULADOR DE PRESION abierto SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH LINEA DE RET obturada SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH LINEA DE RET con fuga SIMPLE
  WITH RELEVADOR no funciona SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH RELEVADOR bajo voltaje SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH TUB BOMBA A RIEL obturada SIMPLE
  WITH TUB BOMBA A RIEL con fuga SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH BATERIA sin carga SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH SWITCH no funciona SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH ECM dañado SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH FILTRO DE GASOLINA tapado SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH MANGUERA DE VACIO desconectada o rota SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
  WITH presion nula en riel SIMPLE
    SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
```

WITH baja presion en riel SIMPLE
 SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
 WITH alta presion en riel SIMPLE
 SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT
 WITH presion correcta en riel SIMPLE
 SEARCH ORDER CONTEXT RULES DEFAULT

```
WITH X fluye gasolina por linea retorno COMPOUND
  Si,
  No
  INIT Si
  WHEN NEEDED
  BEGIN
    text OF TXB Instruccion := Instrucciones[ 1] OF elementos byc
    text OF TXB Unidades := " "
    picture OF PICB Subsistema := Subsistema[ 1]
    picture OF PICB Detalle := Detalle[ 3]
    location OF PICB Detalle := Detalle localizacion[ 3]
    picture OF PICB Flecha := Flecha[ 4]
    location OF PICB Flecha := Flecha localizacion[ 3]
    attachment OF radiobutton p principal := X fluye gasolina por li\
nea retorno OF Var SSB y C
    location OF radiobutton p principal := Radiobutton activado loca\
lizacion
    fill color OF radiobutton p principal := Radiobutton activado co\
lor
    frame OF radiobutton p principal := TRUE
    title OF main window := "Mediciones {Verificación de cedazo}"
    output OF main window := Principal 2_1_1
  END
  SEARCH ORDER WHEN NEEDED
```

AGENDA

1. presion nula en riel OF SSBombeo y conduccion
 - 1.1 RELEVADOR no funciona OF SSBombeo y conduccion
 - 1.1.1 BATERIA sin carga OF SSBombeo y conduccion
 - 1.1.2 SWITCH no funciona OF SSBombeo y conduccion
 - 1.1.3 ECM dañado OF SSBombeo y conduccion
 2. baja presion en riel OF SSBombeo y conduccion
 - 2.1 FILTRO DE GASOLINA tapado OF SSBombeo y conduccion
 - 2.2 TUB BOMBA A RIEL con fuga OF SSBombeo y conduccion
 - 2.3 REGULADOR DE PRESION abierto OF SSBombeo y conduccion
 - 2.4 RELEVADOR bajo voltaje OF SSBombeo y conduccion
 - 2.4.1 BATERIA sin carga OF SSBombeo y conduccion
 - 2.4.2 SWITCH no funciona OF SSBombeo y conduccion
 - 2.4.3 ECM dañado OF SSBombeo y conduccion
 - 2.5 CEDAZO DE LA BOMBA tapado OF SSBombeo y conduccion
 3. alta presion en riel OF SSBombeo y conduccion
 - 3.1 MANGUERA DE VACIO desconectada o rota OF SSBombeo y conduccion
 - 3.2 REGULADOR DE PRESION cerrado OF SSBombeo y conduccion
 - 3.3 LINEA DE RET obturada OF SSBombeo y conduccion
 4. presion correcta en riel OF SSBombeo y conduccion

! DEMON GROUP: BOMBA baja presion OF SSBombeo y conduccion

DEMON Conclusion bomba baja presion

ESTA TESIS NO SALE
 DE LA BIBLIOTECA

IF BOMBA baja presion OF SSBombeo y conduccion
 THEN text OF TXB Conclusiones := CONCAT(text OF TXB Conclusiones, "porq\
 ue ", Conclusiones[13] OF elementos byc)
 AND title OF main window := "Conclusiones"

! DEMON GROUP: BOMBA no funciona OF SSBombeo y conduccion

DEMON Conclusion bomba no funciona
 IF BOMBA no funciona OF SSBombeo y conduccion
 THEN text OF TXB Conclusiones := CONCAT(text OF TXB Conclusiones, "porq\
 ue ", Conclusiones[6] OF elementos byc)
 AND title OF main window := "Conclusiones"

! DEMON GROUP: CEDAZO DE LA BOMBA tapado OF SSBombeo y conduccion

DEMON Conclusion cedazo tapado
 IF CEDAZO DE LA BOMBA tapado OF SSBombeo y conduccion
 THEN text OF TXB Conclusiones := CONCAT(text OF TXB Conclusiones, "porq\
 ue ", Conclusiones[12] OF elementos byc)
 AND title OF main window := "Conclusiones"

! DEMON GROUP: REGULADOR DE PRESION cerrado OF SSBombeo y conduccion

DEMON Conclusion regulador cerrado
 IF REGULADOR DE PRESION cerrado OF SSBombeo y conduccion
 THEN text OF TXB Conclusiones := CONCAT(text OF TXB Conclusiones, "porq\
 ue ", Conclusiones[16] OF elementos byc)
 AND title OF main window := "Conclusiones"

! RULE GROUP: BOMBA baja presion OF SSBombeo y conduccion

RULE 2E cedazo tapado
 IF X cedazo tapado OF Var SSB y C IS Si
 THEN CEDAZO DE LA BOMBA tapado OF SSBombeo y conduccion
 ELSE BOMBA baja presion OF SSBombeo y conduccion

! RULE GROUP: BOMBA no funciona OF SSBombeo y conduccion

RULE 1A y 1B Relevador no func
 IF X voltaje a la salida del relevador OF Var SSB y C = 0
 THEN RELEVADOR no funciona OF SSBombeo y conduccion
 ELSE BOMBA no funciona OF SSBombeo y conduccion

! RULE GROUP: CEDAZO DE LA BOMBA tapado OF SSBombeo y conduccion

! The following rule was exported in a previous rule group
 ! RULE 2E cedazo tapado

! RULE GROUP: REGULADOR DE PRESION cerrado OF SSBombeo y conduccion

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- *<http://www.itam.mx/~extuni/inst/sisexp.html>
 - *<http://www.sia.eui.upm.es/docent/seg.html>
 - *<http://afrodita.ii.uam.es/~saiz/ia/programa.html>
 - *<http://ingenieria.udea.edu.co/programas/sistemas/ppal/enlace.html>
 - *http://www.iberotech.com/edu/mex_edu.htm
 - *<http://www.iberotech.com/acade.htm>
 - *<http://filemon.csi.uil.es/docencia/ asignaturas/342.html>
 - *<http://w3.mor.itesm.mx/~rdec/node16.html>
 - *<http://w3.mor.itesm.mx/~rdec/node15.html>
 - *<http://w3.mor.itesm.mx/~rdec/node17.html>
 - *<http://w3.mor.itesm.mx/~rdec/node18.html>
 - *<http://w3.mor.itesm.mx/~rdec/node19.html>
 - *<http://www.ei.uvigo.es/simawe/asignaturas/SIEX.htm>
 - *<http://www.laguia.com.ar/%5Caaia%5Cexperto.htm>
 - *<http://www.geocities.com/NapaValley/4376/se.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/contenid.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/sedef.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/seelemen.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/secondi.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/selimit.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/seapli.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/rnase.htm>
 - *<http://www.dei.uc.edu.py/tai97/ia/libros.htm>
 - *<http://w3.mor.itesm.mx/~redec/node3.html>
 - *<http://www.mia.uv.mx/~aguerra/ambientesia/index.html>
 - *<http://www.mia.uv.mx/~aguerra/minsky/minsky.html>
 - *<http://www.dectools.com.ar/info.html>
 - *<http://www.dectools.com.ar/informacion.html>
 - *<http://www.dectools.com.ar/noticias.html>
 - *<http://www.dectools.com.ar/productos.html>
 - *<http://www.dectools.com.ar/servicios.html>
 - *<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?query=Expert+System&action=Search>
 - *<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?knowledge+base>
 - *<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?knowledge+representation>
 - *<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?fact>
 - *<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?logic+variables>
 - *<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?conceptualisation>
-

*<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?query=Expert+System&action=Search>
*<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?knowledge+base>
*<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?knowledge+representation>
*<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?fact>
*<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?logic+variables>
*<http://wombat.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?conceptualisation>
*http://ai.iit.nrc.ca/tech_reports.html
*<http://tqd.advanced.org/2705/Approaches.html>
*<http://tqd.advanced.org/2705/basics.html>
*<http://tqd.advanced.org/2705/history.html>
*<http://www.dectool.com.ar/superscan.html>
*<http://www.dectool.com.ar/5000plus.html>
*<http://www.dectool.com.ar/4gas.html>
*<http://www.dectool.com.ar/dec600.html>
*<http://www.dectool.com.ar/dec500.html>
*<http://www.dectool.com.ar/dec700.html>
*<http://members.aol.com/carpix256/index.html>
*<http://www.metacog.com/intro.htm>
*<http://www.metacog.com/example.htm>
*<http://www.metacog.com/techsupp.htm>
*<http://www.partners.net.mx/injecto>
*<http://www.iatn.net/atn/futuguat.html#info1>
*<http://www.diadex.com/expert/auto/index.html>
*<http://www.allexperts.com/cars/repairs.shtml>
*http://www.geocities.com/NapaValley/4376/ia_historia.htm
*<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>
*<http://potato.claes.sci.eg/claes/wheat.htm>
*http://potato.claes.sci.eg/claes/pest_id.htm
*http://potato.claes.sci.eg/claes/gt_tool.htm
*<http://potato.claes.sci.eg/claes/tomatex/tomatex.htm>
*<http://potato.claes.sci.eg/claes/limex/limex.html>
*<http://potato.claes.sci.eg/claes/bes.htm>
*<http://potato.claes.sci.eg/claes/obes.htm>
*<http://potato.claes.sci.eg/claes/person.htm>
*<http://potato.claes.sci.eg/claes.htm>
*<http://server.age.psu.edu/esdg/Main.html>

* Búsquedas realizadas el 1^{er} semestre de 2000.

- Klein, Artur, Informática en Colección: "Maravillas de las ciencias", Osiris Editores, España, 1990.
- Rich, Elaine. Artificial Intelligence, Serie Ciencias de la computación, McGrawHill, Singapure, 1983.
- Dimitris N., Chorafas, Knowledge engineering Knowledge Acquisition, Knowledge Representation, the Role of the Knowledge Engineer, and Domains Fertile for AI Implementation., Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- Nagao, Makoto, Knowledge and Inference, Academic Press, EE. UU., 1990.
- Enciclopedia practica del Automóvil (tomos 1 y5), Ediciones GENECIS, Madrid, 1993.