

# Desarrollo de un sistema experto para el diagnóstico de fallas automotrices

Ricardo Fuentes Covarrubias<sup>1</sup>, Andrés Gerardo Fuentes Covarrubias<sup>2</sup>

<sup>12</sup>

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad de Colima, Colima, México.  
fuentesr@uclm.mx, fuentesg@uclm.mx

## Resumen

Se presenta un prototipo experimental de un sistema experto para el diagnóstico de fallas mecánicas en automóviles, a partir de una interacción en tiempo real. Este sistema es una herramienta de diagnóstico para técnicos mecánicos, practicantes y personas con conocimientos básicos de mecánica automotriz y puede también ser empleado como un sistema tutor inteligente para un curso de mecánica automotriz.

*Palabras clave:* base de conocimiento, motor de inferencia, Prolog

## Abstract

In this paper we present an experimental prototype of an expert system for the diagnosis of mechanical flaws in vehicles, from real-time interaction. This system is a diagnostic tool for mechanical technicians, empirical practitioners and people with basic knowledge of car mechanics and can also be used as an intelligent tutoring system for a car mechanics course.

*Key Words:* knowledge base, inference engine, prolog

## 1. Introducción

Un sistema experto es un programa de computación inteligente que usa el conocimiento y los procedimientos de inferencia para resolver problemas que son lo suficientemente difíciles como para requerir significativa experiencia humana para su solución [1]. Ubicando la aplicación desarrollada en el contexto del diagnóstico de fallas automotrices, podríamos afirmar que en la actualidad los esquemas de reparación y diagnóstico aplicados en la mecánica automotriz se dan desde esquemas artesanales hasta un alto nivel de tecnificación, pero ante el gran incremento del parque vehicular, la demanda de servicios especializados requiere una reducción en los tiempos de detección y reparación de fallas con el consiguiente margen de error que puede significar la pérdida de vidas humanas.

Es de hacer notar que existen a nivel general muy pocos sistemas expertos enfocados al diagnóstico de fallas mecánicas, se puede citar el caso del sistema experto DELTA, de General Electric Company [1], utilizado para la reparación de locomotoras diesel y eléctricas, este sistema además de dar consejos expertos, también presenta informaciones por medio de un reproductor de video, otro ejemplo es STEAMER [1] desarrollado por Navy Research Perssoner Development Center, diseñado para enseñar a los oficiales de la armada de Estados Unidos sobre los problemas de funcionamientos de una planta de propulsión a vapor como las utilizadas por buques impulsados a vapor [1] y por ultimo, es digno de mencionar el proyecto “Proyecto Eolo CN-235”, desarrollado por la empresa española Construcciones Aeronáuticas S. A. el cual es un sistema de enseñanza interactivo para pilotos y técnicos de mantenimiento de aviones del modelo de avión CN- 235. [2]

A nivel comercial existe el software Autodata el cual cuenta con fichas técnicas, tiempos de reparación, códigos de averías y rutinas de reparación de la mayoría de las marcas y modelos de automóviles del mundo (80 fabricantes y más de 16,000 modelos según su pagina de Internet) y permite al personal técnico realizar cualquier tipo de reparación, con la única desventaja de que quien toma las decisiones es el personal mecánico en función a su experiencia profesional y si ésta es incipiente, en muchos de los casos podrían ser erróneas y realizar una reparación deficiente del automóvil. [3]

## 2. Desarrollo del proyecto

Por lo anterior se desarrolló el sistema experto DIMv3, el cual es un sistema basado en conocimiento que permite identificar fallas, realizar inferencias y emitir sugerencias de reparación que reduzcan los tiempos de estancia en el taller mecánico así como evitar al máximo de margen de error humano. Se trabajó con uno de los talleres mecánicos mas grandes de la ciudad de Colima, México con el fin de integrar una base de conocimientos lo más realista posible respecto a los distintos tipos de vehículos existentes en el mercado así como sus fallas más comunes.

Es de hacer notar que el socio mayoritario del taller es profesor en la Universidad de Colima, es egresado de la carrera de Ingeniero Mecánico y varios de sus ayudantes son estudiantes de la carrera técnico en mantenimiento automotriz en el conalep (Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica) y con ellos es con quienes se esta piloteando este sistema como complemento a su practica profesional.

**a. Elementos Hardware - Software**

El sistema puede funcionar con un equipo de cómputo mínimo P4 con 128 Mb en RAM, un disco duro con un espacio disponible de 40 Gb, una tarjeta de video SVGA y un monitor de 15” SVGA.

Se utilizó como herramienta de desarrollo la suite de trabajo Visual Prolog versión 7.2 PE en una plataforma Windows XP.

Es de hacer notar que previamente se habían generado la versión Turbo Prolog, Visual Prolog 5.1 y esta ultima en Visual Prolog 7.2.

**b. Arquitectura del sistema experto**

DIM consta de la siguiente arquitectura: base de conocimientos en la cual se encuentran las fallas y sus diagnósticos, motor de inferencia, mecanismos de control e interfaz de usuario y un modulo de explicación.

La heurística del sistema se centra en el razonamiento causal, existe un mecanismo de explicación que permite indicar lo que hace cada componente del automóvil, porque cada componente esta especificado en una regla.

**c. La base de conocimientos**

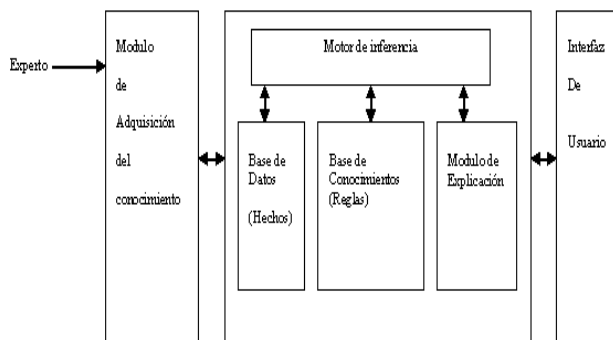
La programación de este sistema experto se ha llevado a cabo a partir de la mezcla realizada entre conocimientos tanto heurísticos como formales.

La base de conocimientos se integró a partir de libros especializados de mecánica automotriz, manuales técnicos, revistas, conferencias, etc., además, se recogen criterios basados en la experiencia de campo por el personal del taller mecánico en cual fue desarrollado.

Se incluyó información sobre las principales fallas de modelos desde 1990 al 2012, en cada una de las marcas de vehículos, considerando en mayor medida la marca Chrysler pues es la que cuenta con mayor soporte documental [9].

Su diseño se da a partir de la implementación de un modelo lógico, se utilizó como herramienta de desarrollo el lenguaje Prolog [7] dada su potencia para el trabajo a partir de la lógica matemática y a que cuenta con un motor de inferencia integrado.

La arquitectura básica del sistema experto DIM se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Arquitectura de DIMv3

La base de conocimientos funciona como un objeto pasivo que almacena reglas a partir de las cuales se determina las causas de un mal funcionamiento de un vehículo.

La representación de la base de conocimientos se da mediante el motor de inferencia que interactúa a partir de reglas causa–efecto con la base de datos y la base de conocimientos [4].

El proceso de razonamiento se da a partir de un encadenamiento hacia delante, en el cual las premisas de las reglas que están en la base de conocimientos, se comparan con la memoria de trabajo. En ese sentido existen una serie de hechos (síntomas) para las que se debe de encontrar sus conclusiones (Fallas) que se derivan de ellas [5]. Consulte la figura 2.

En sistemas cuyo propósito es el diagnóstico, es justificable utilizar un encadenamiento hacia delante, el cual se puede visualizar como un árbol de decisión recorrido en anchura de abajo hacia arriba, también se le denomina de razonamiento de abajo hacia arriba, porque se razona a partir de los hechos de un nivel más abajo a las conclusiones, las cuales se encuentran en el nivel mas alto del árbol [6].

```

SomeData.pro (Somefacts)
300:1 Insert Indent
clauses
% Databasefacts. Can only be changed here
% Fallas en el Arranque_del_Motor
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con luz muy debil)", "Bateria con poca carga defectos en el dinamo", "Cargue la bateria y verifique el sistema de carga.");
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con luz muy debil)", "Bateria defectuosa", "Sustituya la bateria.");
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con luz muy debil)", "Agua en los cilindros o motor gripado", "Quite las bujias para confirmarlo.");
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con luz muy debil)", "Cables de la bateria corroidos o conexiones flojas", "Limpie los bornes de la bateria o Sustituya los ca");
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con luz muy debil)", "Motor de arranque agarrotado", "Libere el motor.");
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con buena luz)", "Inducido de el motor de arranque defectuoso", "Sustituya el motor.");
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con buena luz)", "Mal engrane del motor de arranque", "Limpie el bendix.");
base_conocimiento("El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con buena luz)", "Motor de arranque defectuoso", "Repare o Sustituya el Motor.");
base_conocimiento("El motor gira lentamente pero no arranca", "Bateria con poca carga", "Cargue la bateria y verifique el sistema de carga.");
base_conocimiento("El motor gira lentamente pero no arranca", "Bateria en mal estado", "Sustituya la bateria.");
base_conocimiento("El motor gira lentamente pero no arranca", "Cables de la bateria corroidos o conexiones flojas", "Limpie los bornes de la bateria o sustituya los cables. Apriete los terminales.");
base_conocimiento("El motor gira lentamente pero no arranca", "Cable de masa cortado o con un falso contacto", "Limpie o Sustituya el cable que presenta el falso contacto.");
base_conocimiento("El motor gira lentamente pero no arranca", "Motor de arranque defectuoso", "Repare o Sustituya el motor defectuoso.");
base_conocimiento("El motor gira normalmente pero no arranca", "Averia en el encendido", "Verifique los cables de las bujias.");
base_conocimiento("El motor gira normalmente pero no arranca", "Se observa que no saltan chispas en los cables de bujia", "Verique la salida de bobina para detectar fallas en los circuitos de alta o baja ter");
base_conocimiento("El motor gira normalmente pero no arranca", "Se observa que saltan chispas en los cables de bujia", "Retire el filtro de aire del carburador y verifique el estrangulador del aire. Si es nec");
base_conocimiento("El motor gira normalmente pero no arranca", "La gasolina llega al carburador", "Compruebe por la boca del carburador que la mariposa principal esta humeda. Si no lo esta, limpie los su");
base_conocimiento("El motor gira normalmente pero no arranca", "No llega gasolina al carburador", "Quite el tapon del deposito de gasolina y compruebe si esta vacio (el indicador de nivel de combustible pu");
base_conocimiento("El motor gira normalmente pero no arranca", "El coche esta equipado con bomba electrica de gasolina", "Verifique la masa de la bomba. Si despues de golpearla ligeramente empieza a l
    
```

Figura 2. Segmento de código de la base de conocimientos de DIMv3.

### d. Mecanismos de control

El objetivo principal del sistema encontrar fallos en el funcionamiento de un automóvil y a partir de eso generar un diagnóstico.

La fuente inicial son los síntomas pues marcarán la pauta para encontrar en forma sistemática la causa de las fallas, por lo cual se establecen una serie de hipótesis que se modificarán de acuerdo con el avance en la ejecución del programa.

Lo anterior se puede representar en forma esquemática como se muestra en la figura 3.

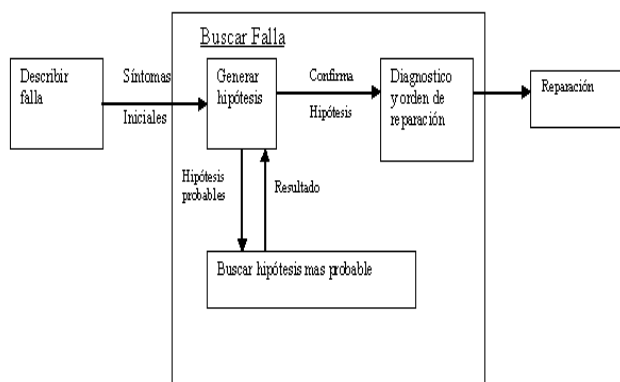


Figura 3. Objetos del sistema

Los módulos de control contienen los datos referentes a cada anomalía investigada, incluyendo algunas sugerencias acerca de las diferentes rutinas a seguir en la reparación o mantenimiento, teniendo en cuenta el modelo, la marca del vehículo y el año. Como forma fundamental de representación del conocimiento se utilizaron reglas de producción que representan la heurística del sistema, por ejemplo:

Modulo Situación de error

Síntoma

Valor.legal [motor no arranca, motor funciona de forma irregular, consumo excesivo]

: “El motor gira lentamente, pero no arranca”

Modulo Hipótesis

Nombre

Valor.legal [Avería en el encendido, se observa que no saltan chispas en los cables de bujía, La gasolina llega al carburador, No llega al carburador, el coche esta equipado con bomba eléctrica de gasolina]

: Diagnostico

If síntoma.situación.de.fallo es avería en el encendido

Then nombre. Hipótesis = no hay gasolina

If síntoma.situación.de.fallo es motor no arranca

Or

síntoma.situación.de.fallo es el motor gira lentamente, pero no arranca

then nombre. Hipótesis = carburador sucio

Para probar que una sola regla es una conclusión verdadera de varias reglas se utiliza el método de resolución con refutación.

Lo anterior permite generar un conjunto de reglas a partir de indicadores conocidos como estados del automóvil los cuales pueden ser:

B = batería en buen estado	A = el auto avanzará
E = presencia de electricidad	C = las bujías producen chispa
G = hay gasolina	P = motor encenderá
S = Bujías en buen estado	L = llantas en buen estado

Expresado mediante proposiciones lógicas, si se desea demostrar que la regla (1) es una proposición verdadera a partir de las reglas (2) la (5), se expresaría como se muestra continuación:

(1)  $B \wedge S \wedge G \wedge L \rightarrow A$

(2)  $B \rightarrow E$

(3)  $E \wedge S \rightarrow C$

(4)  $C \wedge G \rightarrow P$

(5)  $P \wedge L \rightarrow A$

Para demostrar la conclusión (regla 1) se procede a realizar su negación y a partir de ello se genera un árbol de refutación con una raíz nula por lo que el resultado es una contradicción.

Para un planteamiento de diagnóstico se realiza una inferencia a partir de la “búsqueda de la situación de fallo” para lo cual es necesario tomar en cuenta los síntomas iniciales a partir de los cuales se analizan el conjunto de hipótesis probables, para determinar la más probable y formular un diagnóstico que permitirá al técnico reparar el vehículo. Consulte la figura 4 en la cual se presentan las opciones asociadas a:

El motor de arranque no puede hacer que gire el motor (faros con luz muy débil)

La pantalla completa cuenta con ventanas similares para las siguientes opciones:

El motor de arranque no puede hacer girar el motor (faros con buena luz)

El motor gira lentamente pero no arranca

El motor gira normalmente pero no arranca

### e. Interfaz de usuario

Existen dos formas de interactuar con DIMv3, la primera es en forma básica, lo que permite trabajar con los fallos más comunes como lo muestran las figuras 5, 6, 7 y 8 y la forma avanzada en la cuales se solicita más información y el sistema despliega opciones de trabajo a partir del modelo, la marca o actualizar la base de conocimiento [7] [8].

En la forma básica, una vez que el usuario selecciona una falla, DIMv3 emite una recomendación para solucionar el problema.

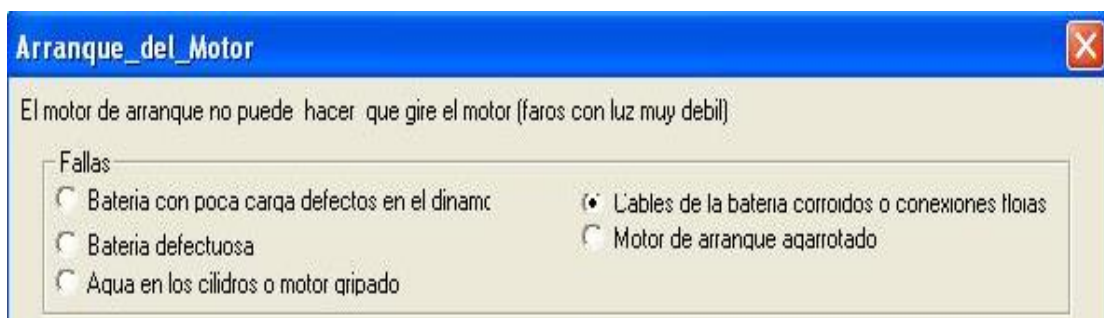


Figura 4. Diagnóstico de fallas de rendimiento de motor.

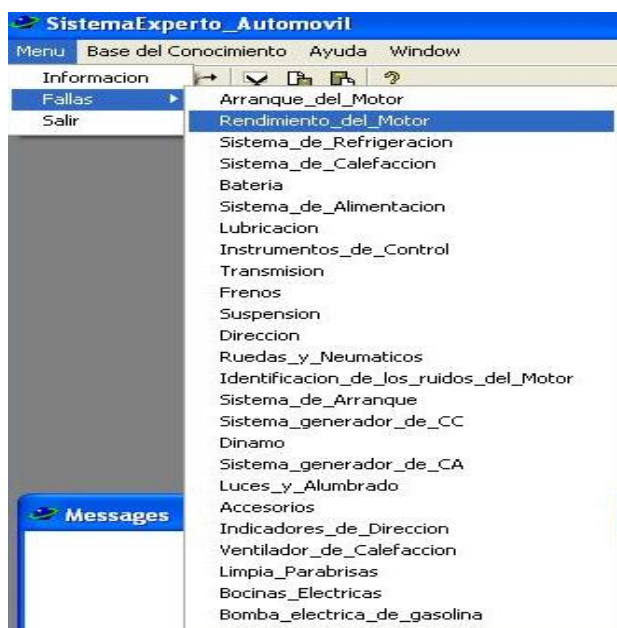


Figura 5. Opciones de trabajo para diagnostico de fallas.

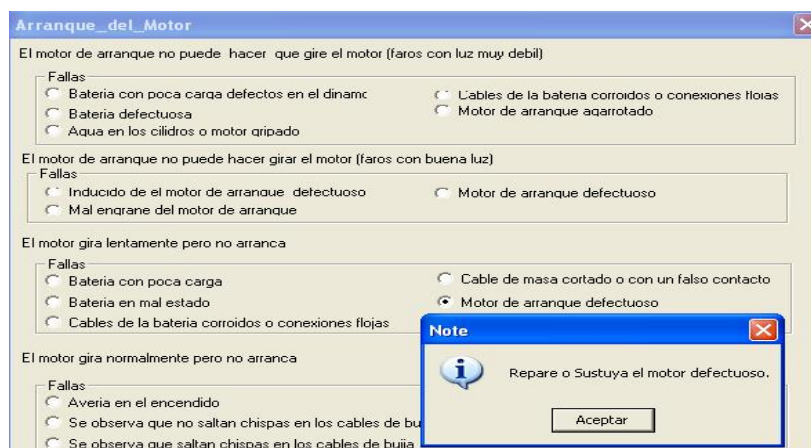


Figura 6. Fallos básicos de un auto para arranque del motor.

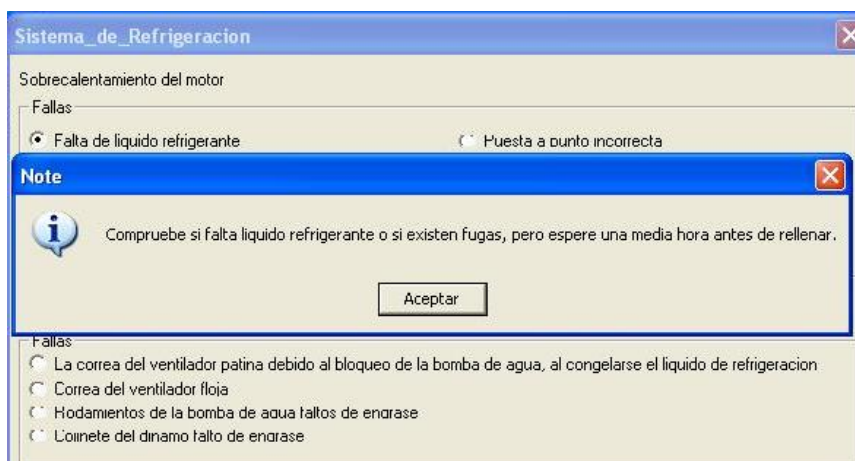
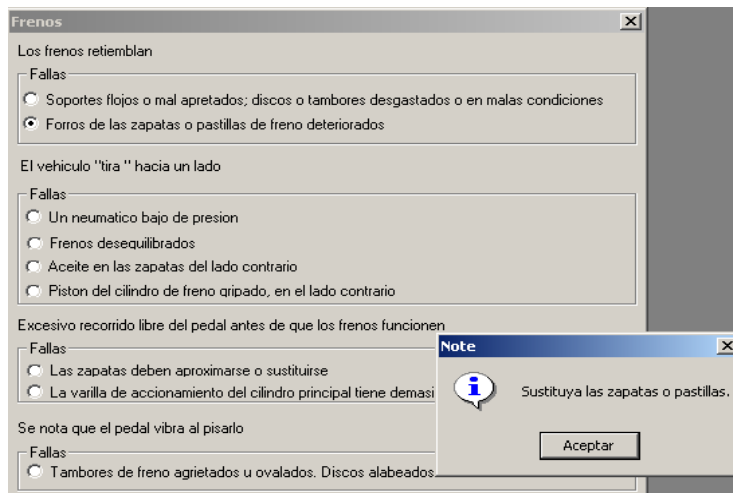


Figura 7. Ejemplo de diagnóstico del sistema de refrigeración.



**Figura 8.** Recomendación en el caso de fallo de frenos

En la parte de ejecución en modo avanzado se considera el diagnóstico de vehículos fuel injection. En primera instancia con la marca Chrysler [9] de la cual se cuenta con la mayor cantidad de información por ser la primera marca que utilizó esta tecnología en forma comercial, esta es la etapa más importante del proyecto debido a que todos los modelos de automóviles recientes utilizan esta tecnología.

Los indicadores con los que se trabaja se muestran en la tabla 1 mostrada a continuación:

	Parámetros	Rutinas
1	<b>Sensores</b>	Ubicación, inspección y pruebas
1.1	Tips de mantenimiento	Inspección
1.2	Temperatura de motor	Inspección
1.3	Temperatura de admisión	Inspección
1.4	Posición del acelerador	Inspección
1.5	Posición de la válvula EGR/sensores de elevación	Inspección
1.6	Oxígeno	Inspección
1.7	Golpeteo	Inspección
1.8	Presión absoluta del múltiple (MAP/BARO)	Inspección
1.9	Flujo de aire de aleta	Inspección

	(MAF)	
1.10	Posición del cigüeñal / árbol de levas	Inspección
2	Módulos de encendido	Inspección y pruebas
3	Otras pruebas	Inspección y pruebas
3.1	Inspecciones de voltaje, continuidad y del diodo	Inspección y pruebas

**Tabla 1.** Indicadores del sistema en modo avanzado

El modo avanzado complementa al básico debido a que en fuel injection un diagnóstico de DIMv3 permite la inspección y sustitución de un sensor, el cual en caso de estar dañado no puede monitorear en forma adecuada hacia la computadora del automóvil.

En forma óptima los sensores se revisan en mantenimiento preventivo pero según estadísticas del taller solo un 40% de los automovilistas (usuarios del taller), siguen un programa de mantenimiento preventivo de sus vehículos lo cual se refleja en desperfectos que pudieron haber sido evitados.

### 3. Resultados y discusión

DIMv3 se encuentra en etapa final y los ajustes que se realizan se hacen en tiempo de ejecución mediante casos reales que se presentan en el taller mecánico lo cual permite el enriquecimiento de su base de conocimientos para corregir y mejorar su funcionamiento.

La base de conocimientos se alimenta en forma constante con la mayor información posible de acuerdo a las mejoras que hacen los fabricantes de vehículos en los nuevos modelos o con los manuales de servicio publicados, verificando su funcionamiento en tiempo real.

En las pruebas realizadas a la fecha se han reflejado en ajustes a las interfaces de usuario con el fin de hacerlas mas sencillas de utilizar por el personal técnico debido a su nivel de escolaridad y al ambiente de trabajo que impera en la mayoría de los talleres mecánicos.

En cuanto al rendimiento del sistema a la fecha es óptimo pero se trabaja en la captura de datos para lograr tener una base de conocimientos más completa lo cual se reflejará en un mejor soporte técnico del taller mecánico hacia sus clientes.

Por otra parte, el gerente del taller mecánico en el cual se realizaron las pruebas finales, realizó un planteamiento para que en una siguiente versión de DIMv3 se considere incorporar un modulo de sensórica que permita eliminar la terminal de diagnostico que actualmente se utiliza (Figura 9), reduciendo significativamente los costos de operación del taller pues el precio de dicho equipo varía de los 200 a los 12,000 dólares.

escáner para realizar en diagnostico del automóvil, no es posible tener el 100% de fiabilidad al momento de realizar una reparación pues al realizar un monitoreo de 10 reparaciones, al menos 3 de ellas en las cuales se confió en el escáner, dicha reparación no quedo completa y el cliente regresó a completar la reparación.

En ese sentido se considera que el potencial de DIM v3 es importante tanto como un complemento del personal técnico como de los nuevos expertos mecánicos los cuales en buena parte son estudiantes de carrera técnica en mantenimiento automotriz, mismos que realizan practicas profesionales al interior del taller mecánico López en el cual se realizó el pilotaje del sistema experto.



Figura 9. Escáner de diagnostico automotriz.

Dicha terminal se conecta a la computadora del automóvil y hace un escaneo general de los sensores que están distribuidos en el automóvil y genera códigos estandarizados como se muestra en la tabla 2.

Es de hace notar que muchas de las fallas encontradas en los automóviles dependen del entrenamiento y las habilidades del personal técnico y aunque se utilice el

Marca	Chrysler, Dodge y Jeep	
Código	Descripción en inglés	Descripción en español
P1289	Manifold Tune Valve Solenoid Circuit	Válvula solenoide de puesta a punto de múltiple - circuito



<b>P1291</b>	OBDII DTC P1291 Chrysler, Dodge, Jeep - No Temp Rise Seen From Fuel Heaters	No se detecto incremento de temperatura en calentadores de combustible
<b>P1292</b>	CNG Pressure Sensor Voltage too High	Sensor de presión CNG - voltaje demasiado alto
<b>P1293</b>	CNG Pressure Sensor Voltage too Low	Sensor de presión CNG - voltaje demasiado bajo
<b>P1294</b>	Target Idle Not Reached	Objetivo ralentí no alcanzado
<b>P1295</b>	No 5 Volts To Throttle Position (TP) Sensor	No llegan 5 voltios a sensor TP
<b>P1296</b>	No 5 Volts To Manifold Absolute Pressure Sensor (MAP) Sensor	No llegan 5 voltios a sensor MAP
<b>P1297</b>	No Change in Manifold Absolute Pressure Sensor (MAP) From Start To Run	No hay cambio en el Sensor de Presión Absoluta del Múltiple (MAP) de empezar (Start) a funcionando (Run)
<b>P1298</b>	Lean Operation At wide Open Throttle	Operación pobre con Mariposa de Acelerador abierto ampliamente
<b>P1299</b>	Vacuum Leak Found (I Air Cleaner (AC) Fully Seated)	Fugas de vacío encontrada (I Limpiador de Aire (AC) completamente insertados)
<b>P1390</b>	Timing Belt Skipped One tooth or More	Banda de distribución se salto uno o más dientes

**Tabla 2.** Ejemplo de una tabla de diagnostico.

## Conclusiones y trabajos futuros

Aunque en la actualidad todos los modelos de automóviles de modelo reciente cuentan con computadora integrada, para el diagnóstico mecánico se requiere un escáner que se conecta a la computadora y al ejecutar la rutina de diagnóstico, el personal técnico del taller mecánico debe interpretar los resultados reportado por el escáner, si esta persona no cuenta con la experiencia necesaria, o el escáner no le reporta alguna falla, no podrá realizar las reparaciones necesarias al vehículo, en este caso DIMv3, es una alternativa y un complemento del escaneo pues la base de conocimiento tiene incluidas

la mayoría de las fallas en automóviles de las principales marcas comercializadas en México.

Actualmente, se trabaja ya en la versión 4.0 del sistema experto en el cual se incorporará un modulo de

senórica con el fin de que el diagnostico sea una consecuencia de la revisión del estado del coche y el modulo de explicación le indique al operario la mejor rutina para llevar a cabo la reparación del vehículo.

Se espera contar con un prototipo depurado y poder analizar una posible comercialización pues el proyecto cuenta con mucho potencial.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad de Colima y al Taller López de la Ciudad de Colima, México el apoyo y las facilidades otorgadas para la realización del presente proyecto de investigación, con el compromiso de regresar y poner a prueba el sistema en su versión 4.0 con el modulo de senórica solicitado y eliminar la terminal de diagnostico que se utiliza actualmente.



## Referencias

- [1] Giarratano Joseph, Riley Garry, “Sistemas expertos, principios y programación”. Cuarta edición, International (Thomson Ed.). (2004), pp. 1-18. México.
- [2] Publicado por Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado el 8 de julio de 2013 de: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299017/2013-2/Modulo/moduloSE/leccin\\_15.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299017/2013-2/Modulo/moduloSE/leccin_15.html)
- [3] Publicado por el fabricante. Recuperado el 8 de julio de 2013 de: <http://www.autodata.es>
- [4] Dieter Nebendahl, “Sistemas Expertos, experiencia de la practica”, (Marcombo, Ed.) (1991), pp. 244-248. Barcelona, España.
- [5] Bratko Ivan, Prolog, Programming for Artificial Intelligence, (Adisson Wessley), (2006), pp. 333-336. Singapur, Tailandia.
- [6] Pajares Martinsanz, Santos Peña Matilde, “Inteligencia Artificial e Ingeniería del Conocimiento”, (Alfaomega Grupo Editor), (2006), pp. 98-114.
- [7] Robinson R. Phillip, Kelly M. Rich, “Using Turbo Prolog”, Mc Graw Hill. (1988), pp.126-132. USA.
- [8] Fuentes Covarrubias Ricardo, Fuentes Covarrubias Andres Gerardo, “Visual Prolog para principiantes”,

(Universidad de Colima, Ed.), (2011), pp.26-41. Colima, México.

- [9] Rubén González M, “Manual didáctico de curso Chrysler de Fuel Injection”, 2001.

*Dirección de Contacto del Autor/es:*

Ricardo Fuentes Covarrubias  
fuentesr@uclm.mx  
Colima, México

Andrés Gerardo Fuentes Covarrubias  
fuentesg@uclm.mx  
Colima, México

---

Ricardo Fuentes Covarrubias. Máster en tecnologías de información y sistemas informáticos por la Universidad Rey Juan Carlos de España. Profesor e investigador en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.

---

Andrés Gerardo Fuentes Covarrubias. Máster en Tecnologías de Información y Sistemas Informáticos por la Universidad Rey Juan Carlos de España. Profesor e investigador en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.

---