



Perfiles en boca de pozo

Sistema Experto para verificar su calidad

por Jorge Albano y Alberto Khatchikian (*)
Astra CAPSA

El control de calidad de perfiles es generalmente llevado a cabo por el geólogo o ingeniero a cargo del control de la operación de perfilaje. El nivel de formación de estos profesionales no abarca, en muchos casos, un conocimiento adecuado de las diferentes calibraciones y cumplimiento de estándar a que las diferentes herramientas deben ser sometidas.

Con el fin de asistir en este campo específico se desarrolló el Sistema Experto WSLQC (*Well Site Log Quality Control*) que permite a profesionales no expertos en perfiles, reconocer un registro defectuoso y solicitar, de ser necesario, una repetición del mismo.

El trabajo "Sistema Experto para verificar la calidad de perfiles en boca de pozo" que obtuvo el primer premio del concurso de las Terceras Jornadas de Informática Aplicada a la Producción de Hidrocarburos, compone una serie de pantallas interactivas de consulta y diagnóstico y elabora una conclusión final sobre el grado de calidad del perfil registrado.

Jorge Albano egresó de la Universidad Nacional de La Plata en 1965 con el grado de Licenciado en Física, obteniendo el Doctorado de Universidad en la Universidad de París en 1968. Se desempeñó como investigador científico en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP y en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE). Fue miembro de la carrera de Investigador Científico del CONICET.

Desde 1977 desarrolla sus actividades en la Gerencia de Ingeniería de la empresa Astra Exploración y Producción.

Alberto Khatchikian es Ingeniero Mecánico de la Universidad de Buenos Aires, Profesor de Registros de Pozo I y II en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires, habiéndose desempeñado como Ingeniero de campo e investigador en varios países para el grupo Schlumberger; estuvo a cargo de Evaluación de Formaciones en Astra y es miembro activo de la SPE y del IAP.

LOS PERFILES DE POZO modernos proveen información esencial acerca del reservorio y el pozo en sí, tales como profundidad, espesor, buzamiento y presión de las capas; litología, arcillosidad, porosidad, contenido y tipo de hidrocarburos; presencia de fracturas; diámetro, ovalización, temperatura y desviación del pozo; adhesión del cemento, corrosión o roturas de cañería, caudal y tipo de fluidos producidos por cada intervalo punzado, etc. Para que los perfiles cumplan con su objetivo es condición indispensable:

- a) que los perfiles a correrse sean los adecuados para las condiciones de temperatura y tipo de fluido en el pozo y que su rango de medición sea el necesario para obtener la información deseada;
- b) que los perfiles sean corridos con herramientas en buen funcionamiento, correctamente calibradas y de acuerdo a las especificaciones de centralización, velocidad de registro, parámetros de procesamiento y presentación que para

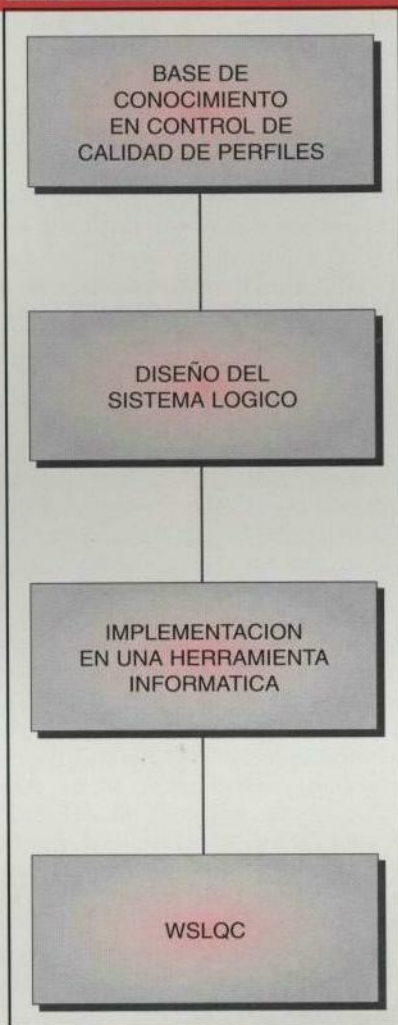
cada herramienta y condición de pozo proveen las compañías de servicios.

El objetivo del control de calidad de perfiles en el pozo es asegurarse que estos dos puntos se cumplan. La elección de la herramienta adecuada en pozos de desarrollo se basa en general en la experiencia en el yacimiento. En pozos exploratorios, en cambio, la elección se decide por mutuo acuerdo entre la compañía productora y la de servicios, previamente al perfilaje en base a las características de reservorio y de pozo previstas, pero pueden presentarse condiciones inesperadas que obliguen a modificar esa decisión durante el perfilaje.

El control de la técnica operativa durante el perfilaje debería ser hecho, en principio, por el geólogo o ingeniero de la compañía productora. Sin embargo, es común que se delegue dicho control al operador de la compañía de servicios, ya que éste posee el entrenamiento requerido y es responsable de seguir las normas y especificaciones de su empresa para lograr perfiles de buena calidad. En la mayoría de los casos, el representante de la compañía productora se limita a tomar nota del tiempo empleado y maniobras realizadas durante el perfilaje y verificar que los perfiles tengan aspecto "normal" y no presenten ruidos, anomalías o vibraciones. Con frecuencia este control se realiza solamente sobre el perfil de uso más inmediato, por ejemplo el de resistencia en operaciones a pozo abierto o el de control de cemento en operaciones de pozo entubado. Perfiles de uso más especializado como los de porosidad o velocidad sónica muchas veces no son debidamente examinados en el pozo, y por este

(*) Actualmente, Consultor.

Fig. 1



mente desarrollar una Base de Conocimiento en control de calidad de perfiles. A continuación se procedió al diseño del Sistema Lógico, a su traducción en un lenguaje de programación adecuado y a su instalación en una computadora (ver Fig. 1).

DESARROLLO DE LA BASE DE CONOCIMIENTO

El primer paso realizado en la implementación del WSLQC consistió en el di-

seño de la Base de Conocimiento implícita en el control de calidad de perfiles. Esto implicó los procesos de adquisición del conocimiento y representación del mismo.

La adquisición del conocimiento fue llevada a cabo mediante la interacción con un experto en el tema y a través de documentación escrita. Una esquematización del proceso puede ser vista en la Fig. 2.

En la interacción con el experto para el proceso de transmisión del conocimiento se aplicaron las técnicas siguientes (Ref. 1):

a) Determinación de trazas en el recorrido del razonamiento

Este proceso consistió en:

- 1- Observación directa del proceder habitual.
- 2- Simulación de hechos corrientes.
- 3- Simulación de hechos hipotéticos.
- 4- Recopilación de experiencias pasadas.
- 5- Restricciones en los recorridos del razonamiento.
- 6- Casos de alta complejidad.

b) Análisis protocolares

Con esta denominación se engloba el acto de traducir en representaciones simbólicas entendibles lo expresado verbalmente por el experto cuando describe los diferentes pasos que condujeron, en un proceso concreto de inferencias, a una conclusión final (pensar en voz alta).

Es la forma de confeccionar un mapa secuencial del razonamiento en una toma de decisión.

En este caso particular el análisis protocolar fue hecho por el experto en forma retrospectiva, analizando un conjunto de casos históricos.

En el caso concreto del proceso de control de calidad de perfiles estas técnicas fueron aplicadas a las diferentes operaciones comprendidas. Estas son: cali-

Fig. 2



motivo existe la posibilidad de que se acepten perfiles con defectos más o menos graves, cuando ya no existe la posibilidad de repetirlos. Esto puede ocurrir, por ejemplo, por uso de herramientas inadecuadas o en malas condiciones o una técnica operativa incorrecta por inexperiencia del operador de la compañía de servicios.

El objeto de este trabajo es proporcionar al geólogo o ingeniero no experto en perfiles una herramienta informática que le permita hacer un control sistemático de calidad de perfiles durante la operación, identificar perfiles defectuosos y decidir si los defectos observados son debidos a problemas operativos, condiciones de pozo o limitaciones propias de las herramientas, y requerir una repetición del perfil, una recalibración o reprocesamiento del mismo, sin necesidad de tener un conocimiento a fondo en este tema.

Se ha elegido como medio apropiado para cumplir con dicho fin el desarrollo de un Sistema Experto, por tratarse de la herramienta existente en el campo de la Inteligencia Artificial que ha alcanzado el mayor grado de madurez hasta el presente.

Este sistema denominado WSLQC (*Well Site Log Quality Control*) ha sido desarrollado en un ambiente de MS-Windows a los efectos de asegurar una interfase con el usuario que responda a los requisitos de amigabilidad, simpleza y alta comunicación. Su instalación en una PC-notebook asegura su portabilidad, condición imprescindible de toda operación en boca de pozo.

En el WSLQC se han incluido los servicios disponibles hoy en día por las diferentes compañías de perfilaje instaladas en el país, ya sean éstos de pozo abierto como entubado.

A lo largo de toda la operación de perfilaje, el Sistema Experto interroga al usuario mediante pantallas interactivas sobre: parámetros del pozo y de las herramientas; calibraciones; datos específicos; condiciones de los registros; maniobras sobre las herramientas; etcétera.

En base a estas entradas se arriba a una serie de conclusiones, consejos y acciones a seguir, transmitidas al usuario mediante un conjunto especial de ventanas de mensajes.

En el proceso de implementación del Sistema Experto fue necesario primera-

braciones de las herramientas en laboratorio y boca de pozo; controles previos y posteriores al perfilaje; condiciones físicas del pozo; características del lodo en pozos abiertos y del fluido en pozos entubados; observaciones y controles durante el perfilaje; aspectos generales y características cuantitativas de los registros de perfilaje; correlaciones entre distintos registros; respuesta de las herramientas a distintas litologías; etcétera.

La información recibida se integra a una base de datos físicos o a una base de razonamiento, constituyendo la unión de ambas la base de conocimiento buscada.

La base de datos físicos contiene valores específicos de parámetros de las distintas herramientas; datos de variables ambientales; información específica de las compañías de perfilaje; datos de variables que intervienen en un perfilaje; datos geográficos; etcétera.

La base de razonamiento contiene las diversas reglas de inferencias aplicables a las diferentes instancias del control de calidad.

Mediante estas reglas el Sistema Experto arriba a conclusiones sobre los diferentes procedimientos de control aplicados en la operación de perfilaje. Como ejemplo de esto puede mencionarse la forma en que el sistema determina si una calibración está o no dentro de las normas; si los controles anteriores y posteriores al perfilaje indican un funcionamiento defectuoso de la herramienta; etcétera.

La documentación escrita utilizada consistió en publicaciones de las respectivas compañías de perfilaje sobre las herramientas involucradas y las normas de calibración y control de calidad (Ref. 2, 3, 4, 5, 6).

DISEÑO DEL SISTEMA

Completada la integración de la Base de Conocimientos, se procedió al diseño de un sistema lógico, plataforma sobre la cual se implementará posteriormente en computadora el Sistema Experto.

En este sistema tenemos diferenciados tres tipos de procesos que se suceden a lo largo de toda la operación de perfilaje. Estos son: recolección de datos, inferencias, comunicación de conclusiones.

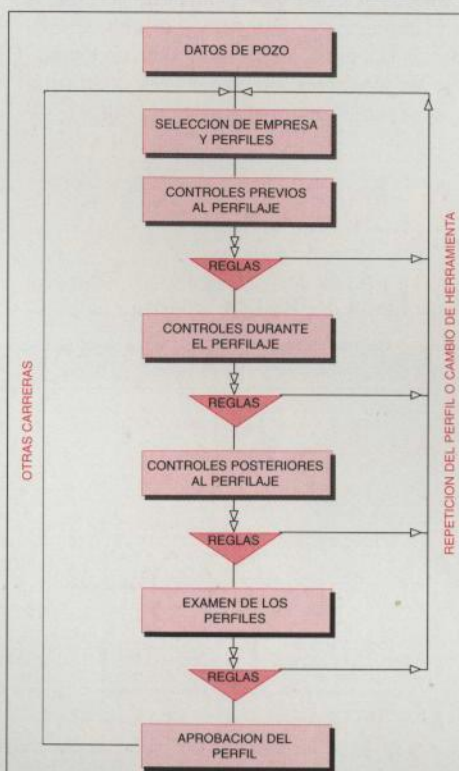
El proceso de inferencias es llevado a cabo por una serie de reglas del tipo IF - THEN - ELSE generalmente encadenadas entre sí. Como tipo de encadenamiento se han utilizado *forward y backward chaining*:

Forward chaining es un conjunto de reglas activadas secuencialmente. A partir de los datos proporcionados, el sistema examina las diferentes respuestas a las cláusulas IF, elaborando en base a ello las respuestas o consecuentes de cada regla. Al satisfacerse la regla que contiene el objetivo buscado, se genera un mensaje con la conclusión obtenida.

Backward chaining es un encadenamiento iniciado por la búsqueda de un objetivo preciso. El sistema intenta encontrarlo activando aquella regla que lo contiene como conclusión (cláusula THEN). Como consecuencia de ello analiza las condiciones presentes en los IF activando aquellas reglas que confirmarían estas cláusulas. De esta forma el sistema recorre hacia atrás una serie de reglas, finalizando cuando se consigue una respuesta que confirma el objetivo buscado.

El sistema WSLQC está integrado por un conjunto de etapas definidas de la siguiente forma (ver Fig. 3):

Fig. 3



1- Ingreso de datos del pozo

En esta etapa se proporcionan al sistema datos específicos sobre el pozo como coordenadas, cota, desviación, condición de abierto o entubado, diámetro de trépano o de cañería.

Se incluyen además todos aquellos datos del lodo necesarios a la determinación del comportamiento de las diferentes herramientas: tipo, resistividad y densidad, contenido de barita y cloruro de potasio, etcétera.

2- Elección del perfil a correr

El sistema es informado sobre la compañía responsable de la operación de perfilaje y las herramientas que serán incluidas en la respectiva carrera.

En base a esta información se define internamente una serie de procedimientos de entrada/salida conducentes a guiar el control de calidad de la operación.

3- Controles previos al perfilaje

En esta etapa se introducen los datos obtenidos en las calibraciones maestras y controles previos a la carrera de perfilaje de las herramientas involucradas. El sistema los analiza y elabora un diagnóstico sobre su coherencia y validez. Complementariamente asiste en la implementación de una serie de verificaciones sobre las respectivas herramientas.

4- Controles durante el perfilaje

Verificación de una serie de condiciones que deben cumplirse a lo largo de la carrera de perfilaje como funcionamiento normal de la herramienta, velocidad máxima de registro, tensión del cable, rotación excesiva de la sonda, presencia de anomalías o ruidos tales como vibración del potencial espontáneo (SP).

5- Controles posteriores al perfilaje

Se controla la realización por parte de la compañía perfiladora de una serie de verificaciones sobre las herramientas que participaron de la carrera.

6- Examen de los perfiles

Se analiza la repetibilidad de los diferentes registros por medio de los respectivos tramos repetidos, teniendo

en cuenta las normas establecidas para cada perfil.

Complementariamente se observa la respuesta de la herramienta en condiciones conocidas tales como lecturas en cañería, valores comparativos entre las diferentes curvas de resistividad, etc., detectando presencia de valores anormales o anomalías como saltos de ciclo en el perfil sónico, por ejemplo.

7- Clasificación del perfil

A partir de un análisis de inferencias llevadas a cabo en los puntos anteriores, el Sistema Experto elabora un diagnóstico final sobre la calidad del perfilaje. De acuerdo a ello el perfil es clasificado de la siguiente forma:

MUY BUENO	No presenta defecto alguno.
BUENO	Presenta algún defecto menor.
ACEPTABLE	Presenta una serie de defectos aunque ninguno de suma gravedad.
INACEPTABLE	Presenta defectos que lo hacen inutilizable.

La última de estas clasificaciones lleva directamente a exigir la repetición de toda la operación de perfilaje o eventualmente a cambiar de compañía. El Sistema Experto aconseja la acción que se debe tomar.

RAZONAMIENTO APROXIMADO

En el tratamiento y análisis de la información suministrada al sistema se presentan ciertas circunstancias que imponen la utilización del llamado razonamiento aproximado o lógica difusa (Ref. 7).

Esta situación se encuentra en el tratamiento de la validez de la calibración maestra de las herramientas y en ciertos controles previos al perfilaje. En estos casos el rango de validez de ciertos parámetros está acotado por valores bien precisos.

Las preguntas que conducen al razonamiento aproximado son:

¿Es sensato aceptar como válida una

calibración cuando el valor de alguno de sus parámetros está en el entorno del límite de validez?

¿Es sensato rechazar un perfilaje cuando uno de los parámetros de la calibración está fuera del rango de validez pero en el entorno del límite?

En estos casos se ha recurrido al modelo probabilístico de razonamiento aproximado aplicado a las reglas que controlan la validez de las calibraciones. Se define un grado de confianza en las conclusiones de estas reglas en función de la proximidad a los límites de validez de los parámetros que conforman los antecedentes de las reglas.

Al presentarse estas circunstancias, el Sistema Experto aceptará o rechazará una calibración con una decisión respaldada por un grado de confianza que varía entre 0 a 100%.

TRANSFORMACION DEL SISTEMA EN HERRAMIENTA INFORMATICA

Definido el sistema en sí, el último paso en la concreción del Sistema Experto es su traducción integral a un lenguaje informático adecuado y su posterior instalación en una computadora.

Para la implementación de este procedimiento se ha elegido un *shell* para desarrollo de Sistemas Expertos totalmente orientado a objeto. La razón de esta elección se basa en una serie de facilidades que presenta esta modalidad de programación que la constituyen en la herramienta más apropiada para esos fines.

Estas ventajas son:

- 1- Facilidad para modificar o reformular métodos o reglas de razonamiento, acciones muy comunes en todo este proceso.
- 2- Reusabilidad de diferentes procedimientos que afectan a objetos, con el consiguiente ahorro en tiempo de desarrollo y detección de errores.
- 3- Propiedad de herencia de objetos padres a objetos hijos, permitiendo un considerable ahorro de esfuerzo de programación y evitando redundancias en el sistema.
- 4- Facilidad para incorporar nuevos métodos o reglas de razonamiento, permitiendo una permanente actualización del Sistema Experto.

El *shell* elegido es el LEVEL 5 OBJECT de Information Builders, herramienta que opera bajo Microsoft Windows. Consta de una serie de módulos especializados que facilitan la definición de clases, atributos y objetos, al igual que el desarrollo de métodos y reglas. El editor de pantallas facilita su diseño poniendo a disposición una serie de objetos gráficos predefinidos. Permite además la interconexión entre los diferentes programas y bases de datos existentes en el mercado informático.

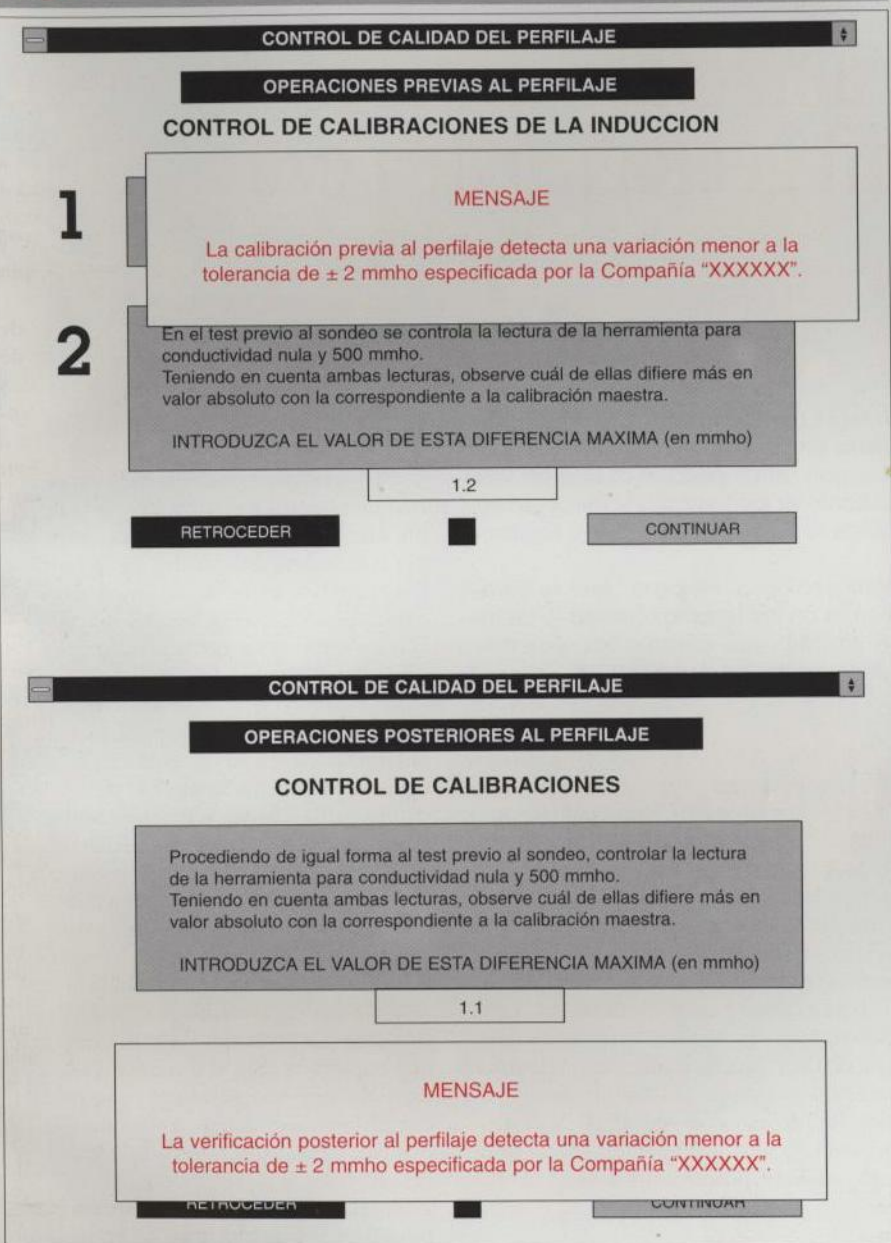
El WSLQC consiste en una serie de métodos que controlan una secuencia de pantallas interactivas de entrada de datos y comunicación de mensajes. Estos métodos son activados al introducir valores a ciertos atributos ligados a objetos (*When Changed Methods*). La secuencia de pantallas es definida a partir de la elección de empresas y servicios (Fig. 3).

Simultáneamente al ingreso de datos se establece con el operador un diálogo interactivo a través de pantallas de mensajes mediante las cuales recibe instrucciones sobre los pasos a seguir y el grado de cumplimiento de las normas de calidad. Estos mensajes son consecuencia de la activación de una serie de reglas encadenadas relacionadas con los datos requeridos por cada pantalla. El encadenamiento de estas reglas puede ser del tipo *forward* como *backward chaining*. Un ejemplo de estas pantallas puede ser visto en la Fig. 4 para el caso del perfil INDUCCION.

Una vez terminada la secuencia de pantallas interactivas, el Sistema Experto sintetiza lo analizado en una última pantalla, proporcionando un diagnóstico final sobre la calidad de los perfiles registrados en la respectiva carrera. De acuerdo a este diagnóstico, el perfilaje puede ser aceptado o rechazado, contemplándose para este último caso la descripción de una serie de instrucciones con los pasos a seguir por el operador.

En el diseño de las pantallas interactivas se ha extremado la condición de simplicidad de éstas, confiriendo al sistema un alto grado de amigabilidad. De esta forma se asegura al usuario una total disponibilidad hacia el control de la operación de perfilaje y no hacia la manipulación del *software*. En este contexto se ha tenido especial atención hacia el tratamiento de las unidades en que son expres-

Fig. 4



CONCLUSIONES

Mediante la tecnología de Sistemas Expertos, rama de la Inteligencia Artificial con mayor grado de madurez a la fecha, se ha desarrollado una herramienta que permite asistir técnicamente a geólogos e ingenieros en el control de calidad de la operación de perfilaje.

El Sistema Experto WSLQC obtenido comprende la totalidad de los servicios de las diferentes compañías de perfilaje operando en el país, ya sean estos en pozo abierto como entubado.

La asistencia al usuario se efectiviza mediante una serie de mensajes formulados a través de pantallas interactivas. Estas pantallas sirven a su vez como medio de ingreso de información y datos.

Se han diseñado los diferentes módulos de ingreso de información y datos manteniendo la condición de amigabilidad en la interacción con el usuario. Estos módulos permiten la expresión de los diferentes datos en cualquiera de las unidades de medida en uso por la industria petrolera.

La implementación del Sistema Experto en un *shell* con programación totalmente orientada a objeto facilita todo tipo de actualización y modificación del sistema, en función de la incorporación de nuevas herramientas o cambios de modalidad operativa en los perfilajes.

Los requerimientos de *hardware* permiten su instalación en computadoras portátiles, requisito necesario a los efectos de transportar el Sistema Experto hasta el propio camión de perfilaje.

REFERENCIAS

- 1 - R.J.Mockler, D.G.Dologite, *An Introduction to Expert Systems*, Macmillan Publishing, 1992.
- 2 - *PLS Calibration Guide* - Halliburton Logging Service
- 3 - *Calibration and Quality Control* - Halliburton Logging Services
- 4 - *Computerised Logging Service (CLS) System Calibration Guide*, Atlas Wireline Service, 1991.
- 5 - *Log Quality Control Reference Manual*, Schlumberger, 1991
- 6 - Ph.Theys, *Log Acquisition and Quality Control*, Editions Technip, 1991.
- 7 - L.A.Zadeh, J.Kacprzyk, *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*, John Wiley & Sons Inc, 1992.

sados los datos, contemplándose la utilización de cualquiera de aquellas típicas a las operaciones de perfilaje.

El Sistema Experto registra permanentemente en archivo ASCII la totalidad de los datos ingresados y las distintas inferencias y conclusiones obtenidas en las diferentes etapas. Complementariamente se dispone de una función de impresión en la totalidad de las pantallas, dejando

en libertad al usuario para imprimir aquellas que considere de interés.

Para un eficiente funcionamiento del Sistema Experto es necesario disponer de una PC 486, con una memoria RAM mínima de 4 Mb y capacidad libre en disco duro de 10 Mb. A los efectos de asegurar su portabilidad en boca de pozo los modelos *laptop* o *notebook* son los más adecuados para las funciones requeridas.