

SUMARIO

1	Introducción	1
2	Objetivos de la obra	2
3	Organización de la obra	3
4	Metodología	4
5	Resultados	5
6	Conclusiones	6
7	Bibliografía	7
8	Índice	8
9	SISTEMAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	9
10	Y EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	10
11	ADOLFO GONZALES TORRES	11
12	EXPLORATION LOGGING	12
13	ARGENTINA	13
14	CONCLUSIONES	14
15	BIBLIOGRAFIA	15
16	INDICE	16

CONTENIDO

	Resumen
I	Introducción
II	Técnicas convencionales de optimización de la perforación
II.1	Sistema convencional de adquisición de datos
II.2	Sistema de monitoreo de actividades de la perforación
II.3	Precesamiento de datos
II.4	Aplicación de los datos procesados de las actividades de perforación.
III	Técnicas modernas de la optimización de la perforación
III.1	Sistema de monitoreo
III.2	Procesamiento de la información
IV	Principios de la inteligencia artificial
V	Sistemas expertos
VI	Diseño de un sistema experto
VII	Metodología para la determinación, desarrollo e introducción de sistemas expertos
VII.1	Factibilidad de aplicación
VII.2	Desarrollo técnico
VIII	Proyecto de la aplicación de sistemas expertos en la evaluación de presiones de poros de formación.
VIII.1	Características del tema
VIII.2	Circunstancias que condicionan la aplicación de la técnica.
VIII.3	Flujo general de la información a analizar
VIII.4	Nivel de conocimientos requeridos
VIII.5	Sistema empleado
VIII.6	Beneficios para el usuario de la aplicación del sistema
IX	Estudio de un caso histórico
IX.1	Generalidades del caso
IX.2	Información de prognosis
IX.3	Parámetros de evaluación
IX.4	Parámetros de detección
IX.5	Limitaciones
X	Análisis de un caso histórico
XI	Conclusiones

FIGURAS

- No. 1 Sistema de Adquisición, Monitoreo y procesamiento de datos.
- No. 2 Sistema moderno de Adquisición, Monitoreo y procesamiento de datos.
- No. 3 Organización de una base de datos para la Industria del Petróleo.
- No. 4 Sistema Experto.
- No. 5 Diagrama de flujo integrado de Evaluación de Presiones durante la perforación.
- No. 6 Perfil de Evaluación de Presiones.
- No. 7 Perfil de Evaluación de Presiones.
- No. 8 Perfil de datos de Temperatura.
- No. 9 Perfil de datos de Temperatura.

RESUMEN

El presente trabajo analiza las formas existentes en la actualidad para el procesamiento de datos de perforación. Esto es, la adquisición, monitoreo y precesamiento de información en tiempo real. Se detalla el grado de desarrollo alcanzado en términos instrumentales, así como también las distintas aplicaciones que tiene este procesamiento de información en procedimientos de evaluación e interpretación. En tal sentido, es tal el desarrollo instrumental y de software alcanzado (sistemas computados compatibles, alta velocidad, alta capacidad de memoria y lenguajes funcionales, base de datos) que hacen factible el uso de la inteligencia artificial, más específicamente sistemas expertos en la resolución de técnicas interpretativas complejas (evaluación de presiones de poros de formación). El presente trabajo concluye que tal desarrollo es posible, debiendo dicho sistema operar en tiempo real con la mínima intervención del operador y ser de carácter abierto, es decir que el sistema no sea autónomo en sus resoluciones.

1) INTRODUCCION

La aplicación de métodos de inteligencia artificial para el análisis e interpretación de datos adquiridos y procesados durante la perforación de pozos, permite la posibilidad de obtener conclusiones confiables en base de análisis realizados en mínimo tiempo. Su aplicación en principio depende de la ejecución de un estudio de factibilidad en el cual se establezca el nivel tecnológico alcanzado en términos instrumentales y de software. Asimismo es necesario analizar en detalle las características del o los temas susceptibles de ser tratados mediante sistemas expertos.

En la actualidad, el nivel tecnológico alcanzado, tanto en lo referente al hardware (herramientas de profundidad, MWD, sensores de superficie, computadores de gran capacidad compatibles IBM) y software (lenguajes avanzados), para la adquisición, monitoreo y procesamiento de información, hacen viable la aplicación de software no convencional, a fin con sistemas expertos (base de conocimientos, máquina de inferencia y base de datos).

El sistema actualmente en uso, permite la manipulación de mayor cantidad de datos en tiempo real así como su comparación con datos históricos (bases de datos), de tal forma que se potencializan los medios de análisis para los distintos aspectos interpretativos que el usuario debe resolver. Al respecto, uno de los principales aspectos interpretativos, sino el principal, evaluación de presiones de poros de formación ha sido analizado cuidadosamente en el presente trabajo. Sus normas y reglas de interpretación, a la luz de las actuales metodologías de desarrollo de sistemas expertos, lo clasifican para ser tratado en corto tiempo a través del uso de la inteligencia artificial. En tal sentido, y como ensayo de introducción de la metodología de sistemas expertos se presenta un caso histórico el cuál es resuelto a través de las normas y reglas convencionales de análisis.

II) TECNICAS CONVENCIONALES DE OPTIMIZACION DE LA PERFORACION

Las técnicas convencionales para la optimización de la perforación consisten en el empleo de sistemas de adquisición de datos, monitoreo de las actividades de perforación, procesamiento de datos y su derivación a medios periféricos (impresoras, graficadores, cintas magnéticas y su transmisión a centros de toma de decisión). (Figura No. 1).

II.1. Sistema convencional de adquisición de datos

Este sistema se subdivide basicamente en:

II.1.a Sistema de perforación para la recepción de:

- Peso sobre el gancho/peso sobre el trépano.
- Presión de bomba.
- Torque
- Rotación de la mesa

II.1.b Sistema de circulación.

- Emboladas de la bomba.
- Caudal de lodo.
- Flujo de retorno.

II.1.c Sistema de lodo.

- Volumen en los tanques.
- Densidad del lodo.
- Temperatura del lodo.
- Resistividad del lodo.

II.1.d Sistema preventivo de reventones.

- Presión anular.

II.1.e Sistema de control de profundidad.

II.1.f Sistema para el control geológico.

- Trampa de Gas.

II.1.g Otras fuentes de datos.

- MWD
- Resistividad (normal corta)
 - Rayos Gamma.
 - Datos direccionales.
 - Datos del lodo.

- Geoquímica Orgánica
- Pico S₁ (hidrocarburos libres)
 - Pico S₂ (hidrocarburos generados).
 - Pico S₃ (contenido de CO₂)
 - Temperatura máxima.

II.2 Sistema de monitoreo de actividades de la perforación

La potencialidad del sistema convencional para el control automático en las actividades de perforación depende de dos aspectos fundamentales:

- a) Naturaleza de la interconexión del Sistema de adquisición de datos con el Sistema de monitoreo.
- b) La capacidad del sistema de computación empleado para desarrollar otras actividades paralelas al control rutinario de las actividades de perforación (monitoreo).

II.2.a Interconexión del Sistema de Adquisición de datos con el Sistema de Monitoreo

Convencionalmente las señales analógicas obtenidas de los sensores pasan previamente por paneles que las digitan y son luego multiplexadas hacia sistemas de cómputos.

Sistemas más sofisticados permiten mediante el empleo de microprocesadores, el paso de señales analógicas hacia sistemas electrónicos, microprocesadores, lo cual simplifica electrónicamente el sistema en uso.

Uno u otro diseño permiten el control de datos en línea o en "Tiempo Real".

II.2.b Capacidad del Sistema de Computación

Una medida clara de las ventajas que brinda cualquier sistema de adquisición y procesamiento de datos es la capacidad de su software, entendiéndose por ello su funcionabilidad y confiabilidad.

En lo funcional, el software debe:

- 1) Permitir la ejecución paralela de múltiples tareas, es decir controlar las actividades de perforación, maniobra, surgencia, revestimiento, ensayos de pozo, etc. Y permitir paralelamente la manipulación (análisis de datos captados) en tiempo real o históricos.

- 2) Llevar a cabo el control de dichas actividades de perforación con la menor cantidad de interacciones del operador del sistema (automatización lógica).

El sistema computado actualmente en uso define automáticamente sentencias como:

"Trépano en el fondo"
"Perforando"

"Maniobrando"
"Circulando"
"Repasando"

La confiabilidad del sistema, se pone de manifiesto en la coherencia de las sentencias dadas por el sistema (en base a la información almacenada y procesada) con respecto a lo acontecido en tiempo real.

Convencionalmente el sistema de computación se ha caracterizado por estar compuesto por minicomputadoras con memoria semiconductora, con una capacidad del orden aproximado de 64 k bytes a 128 k bytes con una precisión de cifras del orden de 8 a 16 bits. Conectado en línea con los sensores a través de un equipo multiplexador o mediante un sistema electrónico avanzado (microprocesador).

El sistema de computación se complementa con el empleo de medios de grabación en cassette o cintas magnéticas para la programación y registro de datos. Siendo los datos del pozo grabados y archivados en cintas magnéticas pie a pie o metro a metro y convertidas posteriormente a un formato compatible con sistema IBM de 9 canales. Otros periféricos que se incorporan son impresores y graficadores para la presentación de la información almacenada para su análisis gráfico.

II.3 Procesamientos de datos

El procesamiento de datos, convencionalmente consiste en la ejecución automática de programas los cuales interrelacionan los datos recolectados en tiempo real en una hoja de memoria con una mínima intervención del operador.

El software es sumamente versátil, de tal forma que los programas son susceptibles de ser modificados adecuándose a las necesidades del caso (modificaciones de algoritmos, modelo de representación numérica o gráfico de datos, obteniendo variables promediadas a intervalos requeridos, etc.).

Los programas aplicados al control continuo de los intervalos de perforación, maniobra, surgencia, revestimiento/cementación, ensayo de pozo, etc., se caracterizan por:

- Monitorear la actividad de perforación.
- Registrar y exponer variables en tiempo real.
- Ejecución de cálculos y almacenamiento de datos en brutos y computados.
- Exposición de la información (impresa/ en cintas magnéticas/gráfico/pantalla.
- Programas totalmente automatizados.
- Diferenciación lógica automática entre cada operación (perforación/ circulación/ maniobra).

- Actualización continua en tiempo real.
- Acumulación y exposición de los datos en intervalos de tiempo, profundidad y/o paquetes de lodo.
- Promediación de datos originales.
- Flexibilización de unidades de ingeniería.
- Flexibilización completa de salida de datos.

II.4 Aplicaciones de los datos procesados de las actividades de perforación

Todos los datos de las distintas actividades de perforación procesados (variables promediadas o variables computadas) tiene diversas aplicaciones en lo referente al análisis, evaluación o interpretación de datos.

Por ejemplo, dadas las siguientes variables de perforación:

	Variable promediada
- Cronometraje	" "
- Peso sobre el trépano	" "
- RPM	" "
- Densidad efectiva de circulación	" computada
- Gradiente de presión normal	" de valor asignado
- Velocidad de perforación normalizado	" computada
- Gradiente de presión de formación	" "

Una vez combinadas las variables promediadas con las variables computadas (densidad de circulación efectiva) y variables con valor asignado (gradiente de presión de Formación Normal), permiten la obtención de variables computadas, velocidad de perforación normalizada (exponente de perforabilidad, DXC) y gradiente de presión de formación de aplicación directa en la evaluación de presiones de poros de formación.

El siguiente cuadro resume diversos ejemplos de la aplicación de las variables procesadas en la interpretación de datos:

<u>1) Variables promediadas/ computadas</u>	<u>Variables computadas/ obtenidas</u>	<u>Aplicación</u>
-Velocidad de perforación.	-DXC	-Evaluación de
-Peso sobre el trépano.	-Gradiente de presión	presiones de
-RPM	de poros de formación.	poros de forma-
-Densidad de circulación		ción.
efectiva.		-Identificación
-Gradiente de presión nor-		de topes o pases
mal.		formacionales.
		-Identificación
		de fallas.
		-Identificación
		litológica.

2) Datos de perforación:

<u>Variables promediadas/ computadas</u>	<u>Variables computadas/ obtenidas</u>	<u>Aplicación</u>
-Peso sobre el trépano.	-Desgaste de trépano.	-Optimización de trépanos.
-RPM	-Horas de rotación.	
-Desgaste del trépano.	-Metros perforados.	
-Abrasividad de formación.	-Costos finales.	

3) Datos del lodo y perforación:

<u>Variables promediadas/ computadas</u>	<u>Variables computadas/ obtenidas</u>	<u>Aplicación</u>
-Caudal del lodo.	-Gas normalizado.	-Evaluación de formaciones.
-Velocidad de perforación.		-Evaluación de presión de poros de formación.
-Gas en la zaranda.		
-Diámetro del pozo.		
-Eficiencia de detección.		

4) Datos de circulación de lodo:

<u>Variables promediadas/ computadas</u>	<u>Variables computadas/ obtenidas</u>	<u>Aplicación</u>
-Caudal.	-Pérdida de carga.	-Optimización hidráulica.
-Presión de bomba.	-Velocidad anular.	
-Densidad de lodo.	-Velocidad crítica.	
-Datos reológicos del lodo.	-Número de Reynolds.	
	-Velocidad de caída de partícula.	
	-Etc.	

5) Datos del lodo:

<u>Variables promediadas/ computadas</u>	<u>Variables computadas/ obtenidas</u>	<u>Aplicación</u>
-Temperatura del lodo.	-Gradientes geotérmicos.	-Evaluación de presión de poros de formación.
-Resistividad del lodo.	-Delta de temperatura.	
-Densidad del lodo.	-Delta de resistividad.	

6) Variables promediadas/
computadas

<u>Variables promediadas/ computadas</u>	<u>Variables computadas/ obtenidas</u>	<u>Aplicación</u>
-Metros perforados.	-Costo instantáneo.	-Optimización de costos de perforación.
-Profundidad.	-Costo acumulado.	
-Horas de perforación.		
-Etc.		

7) <u>Variables promediadas/ computadas</u>	<u>Variables promediadas/ obtenidas</u>	<u>Aplicación</u>
-Densidad bulk de formación.	-Presión de sobrecarga.	-Evaluación de presiones de poros de formación.
-Poisson's ratio.	-Presión de fractura.	-Evaluación de puntos críticos susceptibles de ser fracturados.
-Gradiente de presión de formación.	-Esfuerzo tectónico.	

Convencionalmente, como se ha manifestado anteriormente, el software existente es sumamente versátil, susceptible de ser acondicionado a requerimientos particulares, permitiendo a la vez una rápida y confiable obtención de las variables computadas para la interpretación del caso. Sin embargo en esta nueva etapa, es decir de la interpretación, se precisa de un elevado background por parte del operador, en el dominio de las distintas aplicaciones a fin de resolver, ya no en tiempo real, problemas de interpretación.

Es precisamente en este aspecto que tiene lugar la posible aplicación de la "Inteligencia Artificial" como veremos más adelante, el empleo de un software no tradicional, haciendo uso de un banco de conocimientos y base de datos, permitirán que este (sistema inteligente) realice inferencias dentro de un modelo abierto de consulta con el usuario a fin de arribar en tiempo real a una decisión.

III) TECNICAS MODERNAS DE LA OPTIMIZACION DE LA PERFORACION

En referencia al capítulo anterior, las técnicas modernas en cuanto al monitoreo y procesamiento de información han evolucionado marcadamente, permitiendo el uso de un lenguaje más preciso y funcional (lenguaje C) acorde con sistemas de computación compatibles en el mercado y con aquellos que hacen uso hoy en día de la inteligencia artificial.

III.1 Sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo actual, es un programa de computación integrado que posibilita el control central de la información. Su función, al igual que en los sistemas convencionales consiste en:

- Recolección de datos a partir del sistema de adquisición.
- Monitoreo de actividades de la perforación.
- Ejecución de procesos lógicos, matemáticos.
- Exposición de la información, impresión y graficación.
- Transferencia de la información a "work stations" (base de datos).

La información obtenida, proviene de diversas fuentes como son: los sensores dispuestos en el pozo, (cuyas señales analógicas han sido digitalizadas y multiplexadas) herramienta de profundidad (MWD), integradores de señales. (Figura No. 2).

El sistema de monitoreo, consiste en un número de procesos interconectados que se ejecutan a través del sistema operativo del computador. Este último emplea microprocesadores y coprocesadores matemáticos de lo más avanzado y compatibles con PC-IBM.

La información recepcionada y procesada es almacenada ya sea en disco rígido del computador cuya capacidad es del orden de 110 megabytes o en discos flexibles de 1,4 megabytes. La capacidad de la memoria RAM es del orden de 4 megabytes, lo cual garantiza una muy superior captación y procesamiento de datos en tiempo real (una condición elemental para el uso de la inteligencia artificial en la parte de aplicaciones del procesamiento de la información).

Este tipo de equipo optimiza la exposición de la información, mediante el empleo de impresoras a color, pantalla a color de alta resolución gráfica, interconexión con sistemas computados externos (Network).

III.2 Procesamiento de la información

Un procesamiento más amplio de la información geológico - ingenieril recepcionada y básicamente procesada en tiempo real por el sistema de monitoreo (cálculos de variables promediadas y de variables computadas), se consigue a través del empleo de base de datos aplicados a la industria del petróleo. (Figura No. 3)

El software de esta base de datos se halla instalado en computadores compatibles con sistema IBM-PC, con una capacidad de memoria volátil de 640 kbytes, discos rígidos de 40 megabytes y drive de alta densidad para discos flexibles de 1,4 megabytes.

El software de la base de datos provee el medio para la recepción de registros de distinta naturaleza en una porción de memoria, siendo entonces factible su interpretación global la cual puede ser ejecutada a través de la implementación de módulos de análisis de datos.

La implementación de módulos, no precisa por parte del operador, mayor conocimiento del software empleado si no más bien, una simple definición mediante sentencias en lenguaje natural entendibles por el sistema a fin de procesar las variables que integren un programa de análisis.

Un ejemplo de ello, sería el caso de alimentar la base de datos con las variables básicas de perforación a partir de las cuales, mediante la definición de sentencias que reflejan un algoritmo determinado, (ecuación del exponente de perforabilidad, DXC) se logre obtener los

valores de gradiente de presión de formación, exclusivamente en niveles arcillosos.

III.2.a Características de la base de datos

- La base de datos permite la definición de todo tipo de factor y unidades de conversión para las variables a definir.
- Permite la definición ilimitada de variables alfa-númericas de cualquier naturaleza (litología, datos numéricos).
- Permite la libre asociación de variables para conformación de bases de datos.
- Permite el almacenamiento de la información para dichas variables en función de los pozos que se vayan definiendo (hasta un máximo de 999 pozos).
- Finalmente la información general para un área puede ser a la vez ordenada por campos o yacimientos a fin de no mezclar y/o enmascarar trabajos específicos de interpretación.

III.2.b Ingresos de datos en la base de datos

La base de datos permite la incorporación de datos a partir de:

- Sistemas convencionales de monitoreo (multiplexer, microprocesador).
- Sistemas sofisticados de monitoreo (sistemas compatibles PC-IBM).
- Listados de datos en discos con formato ASCII o LIS.
- Digitalización de información.
- MWD.

III.2.c Naturaleza de los datos ingresados

No existe al presente, límite para el almacenamiento de datos según su naturaleza, estos pueden ser de perforación, presiones, lodo, control geológico, MWD, evaluación de formaciones, núcleos, registros eléctricos, reportes en general.

III.2.d Aplicaciones de la base de datos

Correlación de información actual con información histórica.
(Pozos previos).

III.2.e Análisis de optimización de perforación (Costos, hidráulica, trepáños).

III.2.f Evaluación de presiones de poros de formación

(Pozo por pozo o para un conjunto de pozos para los trabajos de planificación de pozos).

III.2.g Evaluación de gases normalizados, cocientes cromatográficos.

(Por pozo y/o para conjunto de pozos a fin de definir modelos específicos que denoten niveles de interés en futuros pozos).

III.2.h Graficación automática de datos

(Lo que incentiva la mayor manipulación y estudio comparativo de variables).

III.2.i Manipulación de la información

- La información contenida en la base de datos puede ser analizada y procesada en toda su dimensión si es preciso.
- Cálculo de nuevas variables en función de la definición de módulos (ecuaciones). Ajuste en profundidad de la información contenida en un intervalo determinado; incluyendo la compresión o expansión de dicho intervalo.

III.2.j Presentación de la información

Al presente no existe límite para la combinación de datos que conformen un gráfico en particular. Los gráficos son controlados en función de la profundidad medida, profundidad vertical o tiempo. Los mismos pueden ser visualizados en pantalla, impresos, graficados o en todo caso, impresos en un archivo para su transmisión a estaciones lejanas. La información así mismo, es analizada a través de listados de datos de libre conformación, pudiendo ser expuestos en pantalla, impresora o grabados en formato ASCII previo a ser transferidos a otro Sistema.

III.2.k Transmisión de la información

Al presente el empleo de Sistemas de Computación plenamente compatibles con sistemas IBM-PC, permiten el fácil acceso al software más conveniente (CROSSTALK) y mediante la instalación de equipos de conversión de señales (MODEM) tanto en la estación de transmisión, como receptora, posibilita la transmisión de información a través de línea telefónica, microondas o satélite. Este mismo software, permite el diálogo entre ambas estaciones a fin de convenir las condiciones de transmisión.

Como ejemplo, la transmisión vía cable telefónico de una hoja de perfil del Control Geológico de 140,000 bytes, a una velocidad de transmisión de 2400 (bytes per second) y previa comprensión de dicha hoja al 50%, toma aproximadamente 5' minutos (sin que ello se vea afectado por la distancia entre los puntos).

IV PRINCIPIOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Luego de ver los procedimientos que al presente se emplean para el análisis de información provenientes de pozos, veamos las alternativas que hoy en día existen, que permiten simplificar en tiempo la obtención de conclusiones confiables provenientes de métodos de evaluación complejos (evaluación de presiones de poros de formación).

Un paquete de software elaborado bajo el principio de la inteligencia artificial, supone su facultad para la deducción, toma de decisiones, comprensión (lenguaje), percepción (robótica) y sistemas especiales de computación algebraica.

Convencionalmente, los programas de computación resuelven indefiniciones en base a datos disponibles según la lógica del programa (mezclando las normas de interpretación originales), no haciendo distinción entre el conocimiento específico del problema y/o método de resolución. Un ejemplo práctico de ello es aceptar que toda tendencia negativa de los exponentes de perforabilidad suponen un incremento en el gradiente de presión de poros requiriendo por lo tanto la densificación de la inyección, cuando sabemos perfectamente que existen varias razones para el desarrollo de tal anomalía en el exponente D_c que no implican necesariamente la densificación del lodo.

Un software elaborado bajo el principio de la Inteligencia Artificial ante la misma situación del ejemplo anterior, recurre al empleo de un espacio ordenado de las posibles soluciones al problema planteado (base de conocimientos, banco de reglas y hechos), así como el empleo de algoritmos generales para operar las reglas y hechos (denominada máquina de inferencia).

La base de conocimientos, puede llegar a ocupar una gran cantidad de espacio, el cual será recorrido por la inercia del sistema tratando de encontrar una solución. Sin embargo como resultado de la aplicación de sistemas inteligentes, la tendencia es hacia un estrechamiento de propósitos con miras de alcanzar resultados confiables. En tal sentido surgieron los sistemas expertos que intentan resolver un determinado tipo de problemas dentro de una disciplina específica.

V SISTEMAS EXPERTOS

Un sistema experto es un programa sofisticado el cual hace uso de una base de conocimientos (normas y reglas para el reconocimiento de un problema), una base de datos obtenidos en tiempo real y de una máquina o centro de inferencia a fin de llegar a conclusiones en tiempo real.

La base de conocimientos puede ser modelada mediante diversos mecanismos (reglas de producción, lenguajes lógicos, etc.), pero más que nada deben ser expandibles, de fácil definición e independientes del ordenamiento de la representación. El centro de inferencia al realizar deducciones sobre eventos utiliza reglas de inferencia de la lógica (difusas) o en todo caso nivel probabilístico.

Los sistemas expertos hoy en día desarrollados, suponen el uso de un "Shell" o "Caparazón" (resto de un sistema experto despojado de su base de conocimiento experta), el cual cuenta con un centro de inferencia, y permite la organización específica del conocimiento (base de conocimientos) para diversas aplicaciones con requisitos comunes.

Los sistemas expertos optimizan la resolución de problemas en las áreas de diagnóstico, toma de decisiones, diseño y fallas; facilitando al usuario la información contenida en una base de experiencia sobre un tema particular. La misma base de experiencia, puede ser incrementada a través de su propia experiencia o mediante el uso del mismo lenguaje con el que está definido y que pertenece a esquemas de expresión del conocimiento. Adicionalmente, los sistemas expertos permiten manejar información no necesariamente precisa mediante la adjudicación de factores de incertidumbre o de probabilidad tanto a las normas o hechos así como a los conocimientos almacenados.

Los programas de sistemas expertos a diferencia de los programas convencionales, independizan la información y los mecanismos de la deducción (modularidad), así mismo juntan la evaluación de la información en forma no procedural, más accesible a una automatización del razonamiento.

Si bien un sistema experto es un sistema computacionalmente complejo puede considerarse que el principal obstáculo en su diseño radica en la dificultad para modelar la base de conocimientos. Normalmente el "experto" realiza sus deducciones o diagnósticos mediante mecanismos poco formales o estructurados. Agregándose a ello la dificultad para que dicho experto revele el "know how" a la base de conocimientos.

VI DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERTO

Básicamente se halla constituido por un núcleo, formado por la base de conocimientos y la máquina de inferencia, y sistemas de interfaces de comunicación (usuario/experto). Un módulo adicional para la explicación del comportamiento. (Figura No.4).

VII METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION, DESARROLLO E INTRODUCCION DE SISTEMAS EXPERTOS

La definición de las condiciones mínimas requeridas para el desarrollo de sistemas expertos se basa en los siguientes lineamientos:

- a) Factibilidad de aplicación.
- b) Desarrollo técnico.

VII 1 Factibilidad de aplicación

Consiste en la rápida identificación de los temas potencialmente analizables, así como de aquellos tópicos contenidos dentro de cada tema cuyo tratamiento puede llegar a ser cuestionable a la luz del actual Nivel Tecnológico en Sistemas Expertos (tópicos de alto grado de incertidumbre, factibles de ser manipulados mediante métodos convencionales).

El producto final de esta fase es la identificación de un potencial tema depurado, susceptible de ser analizado mediante sistemas expertos.

VII 2 Desarrollo técnico

Consiste en el conocimiento detallado de los principios del tema seleccionado a través del uso de una metodología desarrollada, la cual busca identificar posibles defectos en el tema bajo consideración.

VIII PROYECTO PARA LA APLICACION DE SISTEMAS EXPERTOS EN LA EVALUACION DE PRESIONES DE POROS DE FORMACION

VIII 1 Características del tema

a) Definición

La evaluación de presión de poros de formación permite estimar los rangos de gradientes de presión en niveles del subsuelo asociados o no con posibles reservorios de petróleo o gas. Esta información permite optimizar las condiciones de perforación a fin de realizar una correcta evaluación del potencial petrolífero en el subsuelo, sin daño de formaciones y perforar bajo condiciones de mayor seguridad.

- b) Usuarios: Ingenieros de perforación.
Geólogos de pozo.

c) Aspectos resaltantes de la técnica

- Evaluación o detección de presiones de poros de formación.
- Se utiliza una secuencia de datos en función del tiempo o profundidad, obtenidos en el pozo mediante ya sea sistemas computados de adquisición de datos y/o a partir de la observación normal de las propiedades de las rocas.
- La diagnóstico se basa en la existencia de anomalías definidas como cambio de tendencia en cualquiera de los distintos indicadores mientras el pozo es perforado (análisis realizado desfasado del tiempo real).
- Los datos disponibles para el análisis varían de pozo en pozo.

d) Objetivo

- Una evaluación de presiones de poros de formación hecha a tiempo, es crítica para la óptima perforación de pozos tanto en lo que concierne a seguridad, calidad como costos. Evaluaciones de presiones de poros deficientes pueden llegar a inducir al descontrol del pozo, pérdida del pozo y/o de potenciales recursos petrolíferos.

VIII 2 Circunstancias que condicionan la aplicación de la técnica

1) Evaluación de presiones de poros de formación

Cuando se perfora en regiones en las cuales se conoce la existencia de presiones de poros de formación anormales, o en áreas sujetas a la exploración.

a) Datos requeridos

- Cronometraje (velocidad de perforación).
- Velocidad de perforación normalizada (DXC, NX, Sigma).
- Comportamiento del pozo.
- Resistividad en el fondo del pozo (MWD).
- Lectura de rayos gamma de formación (MWD).
- Temperatura del lodo de circulación.
- Análisis de gases anómalos.
- Examinación de recortes.
 - Porosidad de lutitas.
 - Densidad de lutitas.
 - Factor lutita.
 - Naturaleza de las lutitas.

b) Método de estudio

Se realiza un análisis sinérgico de los indicadores de presiones anormales.

c) Resultado obtenido del estudio

- Estimación (cualitativa) de la presión de poros de formación.
- Determina la necesidad para ensayos secundarios (chequeo de flujo).
- Determina la necesidad de tomar medidas preventivas (incremento de densidad del lodo).

2) Detección de presiones de poros de formación

a) Circunstancias

Durante la perforación de pozos los datos requeridos son:

- Caudal del lodo.
- Volumen del lodo.
- Análisis del gas de formación.

b) Método de detección

Detección de cambios súbitos en cualquier parámetro indicado.

c) Resultado obtenido

- Determina la necesidad para ensayos secundarios.
- Determina la necesidad para tomar medidas preventivas (incrementar densidad del lodo).
- Determina necesidad para realizar ensayos de control de pozo.

VIII 3 Flujo general de la información a analizar (Figura No. 5)

a) Adquisición de los datos

Los datos son obtenidos a partir de sensores distribuidos en distintos puntos del equipo de perforación. Las señales de dichos sensores son procesadas y almacenadas en base de datos. Dichos sensores dan una indicación de las variaciones de los parámetros medidos en el fondo del pozo, espacio anular y superficie. Además, algunos datos son ingresados manualmente por el geólogo o ingeniero.

b) Presentación de la información

La información es impresa y graficada desde la base de datos de tal forma que optimiza los alcances de la interpretación.

c) Monitoreo de la información

Los datos críticos son monitoreados (controlados) continuamente tanto visual como auditivamente a través de mecanismos de hardware-software. Los parámetros comprometidos en la evaluación de presiones son monitoreados en paquetes de información.

d) Evaluación de presión de poros anormal

Se ejecuta en paquetes de información, definiéndose un gradiente y una tendencia.

e) Recomendaciones

Las recomendaciones dependen del nivel de conocimiento respecto a la anomalía de geopresión pudiendo variar desde:

- Información facilitada al operador (datos concretos como por ejemplo la presión de poros es de 15 lb/gal, incrementando).
- Alertando al perforador (por ejemplo, aconsejar parar la perforación y realizar un chequeo de flujo).
- Alerta dentro del laboratorio (por ejemplo, chequear por el incremento en derrumbes en la próxima muestra).

VIII 4 Nivel de conocimientos requeridos

- Principios geológicos. Fundamentalmente respecto a las hipótesis que definen la generación de geopresiones.
- Conocimientos asociados, en referencia a las características que manifiestan los parámetros evaluados antes de ingresar en zonas geopresurizadas.
- Conocimientos respecto al comportamiento de los indicadores de presión de poros, es decir como ellos reaccionan ante cambios en la presión de poros y circunstancias en las cuales ellos pueden llegar a dar indicaciones falsas.
- Conocimiento sobre la instrumentación empleada, es decir reconocer el efecto de señales falsas provenientes de equipos en mal estado.
- Análisis simultáneo de distintas variables lo cuál puede llegar a ser contradictorio.

- Conocimientos de los métodos y procedimientos de perforación.
- Juicio del operador, resultado de sus experiencias y conocimiento técnico.

VIII 5 Sistema empleado

a) Interfaces del sistema

- Interconectado a sistemas computados de adquisición y almacenamiento (base de datos).
- Mínima participación del operador.

b) Acceso al sistema del usuario

- A través de terminales, pantallas con alta revolución gráfica.

c) Ubicación del sistema

- En boca de pozo.

VIII 6 Beneficios para el usuario de la aplicación del sistema

- Las anomalías son diagnosticadas en forma más objetiva evitando toda subjetividad.
- Ahorro en el tiempo para la obtención de resultados o conclusiones.

Indirectamente la aplicación de la técnica de evaluación de presiones de poros de formación tiene aplicaciones en la resolución de problemas tales como: aprisionamiento de herramienta, operaciones de maniobras de trepáno óptimas, etc.

IX ESTUDIO DE UN CASO HISTORICO

El estudio de casos históricos debe considerar los siguientes aspectos:

1) Generalidades del caso

El pozo se halla localizado en un área con reconocidas condiciones de geopresurización.

2) Información de pronosis

- a) Escasos pozos perforados en la zona manifiestan niveles con alta presión de poros de formación por debajo de un horizonte marcador (caliza).
- b) Asentar revestimiento por debajo del horizonte marcador.
- c) Incrementar la densidad del lodo paulatinamente conforme incrementa el gradiente de presión de poros de formación.

3) Parámetros de evaluación

- Velocidad de perforación normalizada.
- Análisis de gas.
- Temperatura de lodo.
- Descripción litológica.

4) Parámetros del lodo

- Velocidad de flujo de lodo (caudal).
- Volumen de lodo.

5) Limitaciones

Recuérdese que se dispone en tiempo real de un solo parámetro de evaluación, el DXC, los demás parámetros sufren el atraso del retorno del lodo desde el fondo del pozo a superficie.

ANALISIS DE UN CASO HISTORICO

Profundidad a: 1700 mts. (Figuras No. 6 y No. 8)

Tópico I: Análisis de la velocidad de perforación.

Variable: DXC.

Concepto: Respuesta del DXC,

Método: Análisis de la tendencia del DXC.

Resultado: No hay aumento en la presión poral.

Gradiente del alineamiento igual a 8.7 lb/gal.

Control pobre (evaporitas).

Tópico II: Análisis de gas.

Variable: Gas total.

Concepto: Respuesta del gas total.

Método: Identificar manifestaciones de gas (anómalos).

Resultado: Mínimo gas background, ausencia de gas de conexión.

Resultado: No hay indicación de presión de poros anormal.

Tópico III: Análisis de temperatura.

Variable: Temperatura de lodo de retorno.

Concepto: Respuesta de la temperatura.

Método: Análisis end - to - end.

Resultado: Muestra un leve incremento en profundidad (debido al tipo litológico, evaporitas). No indica riesgo de pre-saturización.

Tópico IV: Análisis litológico.

Variable: Muestras de recorte.

Concepto: Identificación litológica y descripción.

Método: Examinación de recortes.

Resultado: Evaporitas. Posible sello.

Tópico V: Resultados globales.

Entrada: Resultado de análisis de datos.

Concepto: Evaluación de presiones de poros.

Método: Combinar el resultado de los indicadores y definir conclusiones.

Resultado: Gradiente de presión de poros normal, gradiente igual a 9,7 lb/gal, estable.

Tópico VI: Recomendaciones.

Entrada: Conclusiones.

Concepto: Operación de perforación.

Método: Analizar la seguridad del pozo.

Resultado: Continuar monitoreando, controlando nivel de tanques.

Profundidad a: 2150 mts. (Figuras No. 6 y No. 8).

Tópico I: Velocidad de perforación normalizada.

Variable: DXC

Concepto: Respuesta del DXC.

Método: Análisis de la tendencia.

Resultado: Posible incremento en gradiente de presión de poros cuantificado aproximadamente en 11,00 lbs/gal.

Tópico II: Análisis de gas.

Variable: Gas total.

Concepto: Respuesta del gas total.

Método: Identificación de manifestaciones de gas (anómalos).

Resultado: Gases de conexión ausentes. Lecturas de gas procedentes de algún nivel productor (contaminación).

Tópico III: Análisis de temperatura.

Variable: Temperatura de retorno del lodo.

Concepto: Respuesta de temperatura.

Método: Análisis end - to - end.

Resultado: Enmascaramiento en la tendencia de variación por efecto de adición de lodo de tanque de reserva.

Tópico IV: Análisis litológico.

Variable: Muestra de recortes de perforación.

Concepto: Identificación y descripción litológica.

Método: Examinación de recortes.

Resultado: Secuencia principalmente lutítica con intercalaciones de arenisca. Se observan cristales de calcita en microfracturas (lutitas).

Tópico V: Resultados globales.

Variable: Resultados del análisis de datos.

Concepto: Evaluación de presiones de poros.

Método: Combinar resultados de los indicadores y definir conclusiones.

Resultado: Secuencia normalmente presurizada, complicada en su interpretación por falsa respuesta del DXC afectado por el tipo y distribución de porosidad en la sección perforada. Además la curva del gas se encuentra aparentemente enmascarada por gas de contaminación, lo cual complica la interpretación.

Tópico VI: Recomendaciones.

Entrada: Conclusiones.

Concepto: Operación de perforación.

Método: Analizar la seguridad del pozo.

Resultado: Chequeo de flujo.

Profundidad a: 2510 mts. (Figuras No. 7 y No. 9)

Tópico I: Velocidad de perforación normalizada.

Variable: DXC

Concepto: Respuesta del DXC.

Método: Análisis de la tendencia.

Resultado: Brusco desplazamiento del valor del DXC a la izquierda. Posible incremento en la presión de poros, cuantificada en función del cierre del pozo y lectura estabilizada por directa.

Tópico II: Análisis de gas.

Variable: Gas total.

Concepto: Respuesta de gas total.

Método: Identificación de manifestaciones de gas (anómalos).

Resultado: Elevada manifestación de gas (7000 unidades), lodo cortado de 9,5 lbs/gal a 4,5 lb/gal. Ordenar cierre del pozo.

Tópico III: Análisis de temperatura.

Variable: Temperatura de retorno del lodo.

Concepto: Respuesta de temperatura.

Método: Análisis end - to end.

Resultado: Tendencia del gradiente térmico negativa y posteriormente enmascarada. Ingreso en posible reservorio.

Tópico IV: Análisis litológico.

Variable: Muestras de recortes de perforación.

Concepto: Identificación y descripción litológica.

Método: Examinación de recortes.

Resultado: Calizas micríticas, microfracturadas.

Tópico V: Resultados globales.

Variable: Resultados de análisis de datos.

Concepto: Evaluación de presiones de poros.

Método: Combinar resultados de los indicadores y definir conclusiones.

Resultado: Sección probablemente presurizada, lo determina así la la anomalía térmica y la manifestación gaseosa, el gradiente de presión de poros a deducir a través de lectura de presiones estabilizadas a pozo cerrado.

Tópico VI: Recomendaciones.

Entrada: Conclusiones.

Concepto: Operación de perforación.

Método: Analizar la seguridad del pozo.

Resultado: Cierre de pozo (accionamiento de BOPs).
Tomar lectura estabilizadas por directa.
Controlar el incremento en el nivel de tanques.
Deducir el gradiente de presión de poros de formación, agregar factor de seguridad y densificar.
Controlar pozo según procedimiento del perforador/in-geniero.

X.1 Conclusiones

Definida la evolución que ha alcanzado tanto la instrumentación empleada así como el software en uso, y luego de haber realizado en forma introductoria un estudio de desarrollo de sistemas expertos para la interpretación de datos de pozos, arribamos a las siguientes conclusiones:

- X.1.1) Se hace factible el desarrollo de Sistemas Expertos para la evaluación de presiones de poros de formación.
- X.1.2) Dicha evaluación mediante sistemas expertos debe realizarse en tiempo real.
- X.1.3) El sistema instrumental a utilizar deberá caracterizarse por su compatibilidad con otros sistemas, tener alta velocidad de procesamiento y capacidad.
- X.1.4) Hacer uso de lenguajes sumamente funcionales.
- X.1.5) El sistema experto deberá ser de carácter abierto, es decir, que el sistema no será autónomo en su decisiones.
- X.1.6) "Shells" o caparazones de sistemas expertos existentes en la actualidad, son factibles de ser considerados como modelos básicos.



Referencia:

- Bain, W. M. "A case-based reasoning system for subjective assessment", AAAI-86.
- Bibiani, R. "A software and hardware environment for developing an applications on parallel processors", AAAI-86.
- Edelson, T. "Can a system be intelligent if it never gives a damn?", AAAI-86.
- Exploration Logging Data base System.
- Exploration Logging Drill Monitor System Manual.
- Exploration Logging Engineering Assistance Programs.
- Exploration Logging Formation Pressure Manual.
- Exploration Logging Formation Evaluation Manual (Field Geologist Training Guide).
- Exploration Logging Mud Hydraulics Manual.
- Exploration Logging Operating System Manual.
- Minsky, M. "Informática e Inteligencia Artificial", Electrónica 396, Junio 1988.
- Roberts, S. "Artificial intelligence", Byte, Sep. 1981.
- Siemens, R. "Starplan II: Evolution of an expert system", AAAI-86.
- Tecknowledge, Inc. "Assessing Expert System Opportunities", 1988.
- Tello, E. "What progress is being made in AI?", Or Dobb's Journal, February 1987.
- Velasco Kopp jr. R. "Una visión sobre Inteligencia Artificial", Electrónica, Agosto 1987.
- Vidart, J. "Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos", Secretaría de Ciencias y Técnicas, Subsecretaría de Informática y Desarrollo, Oct. 1987.

SISTEMA DE ADQUISICION MONITOREO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

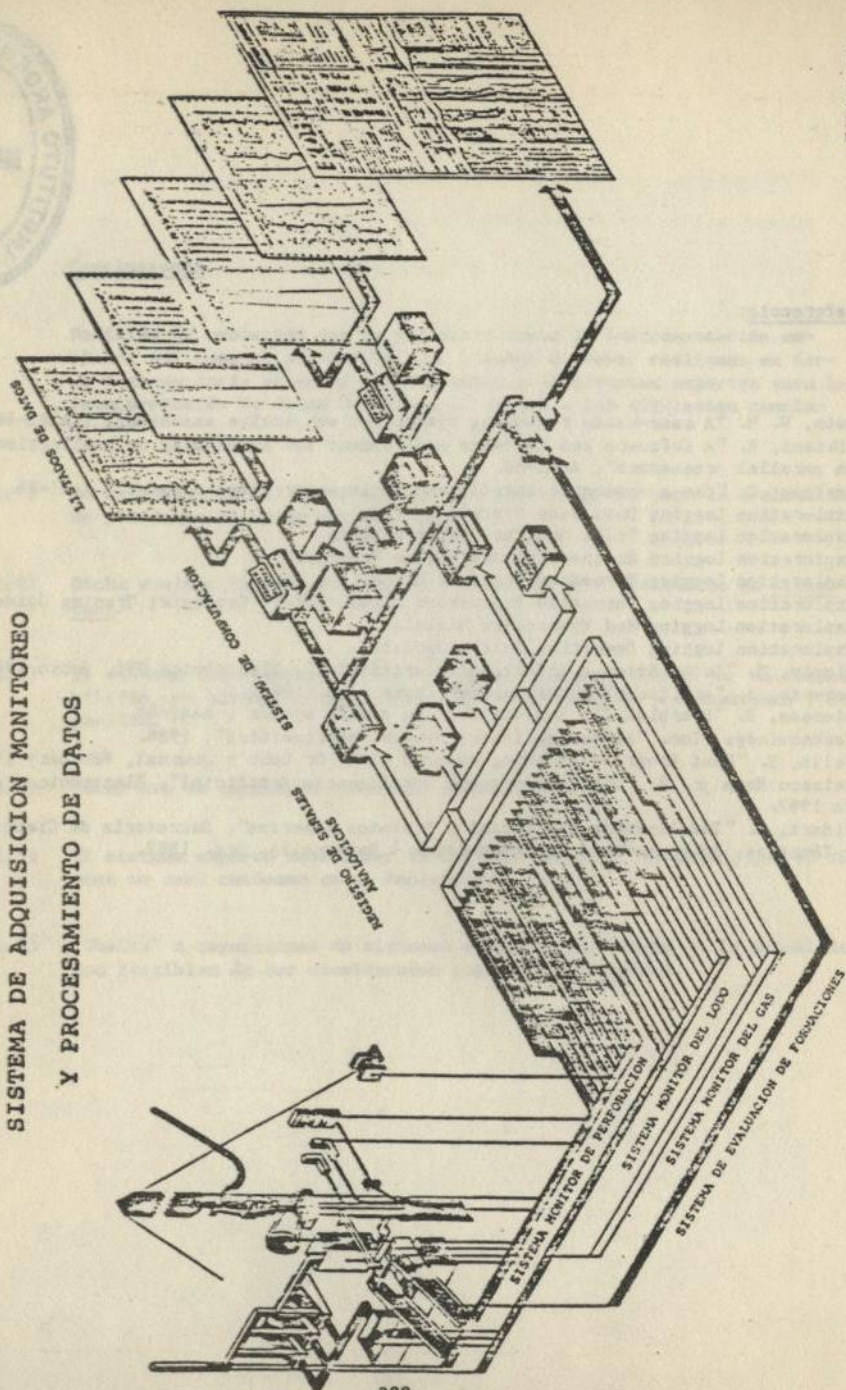
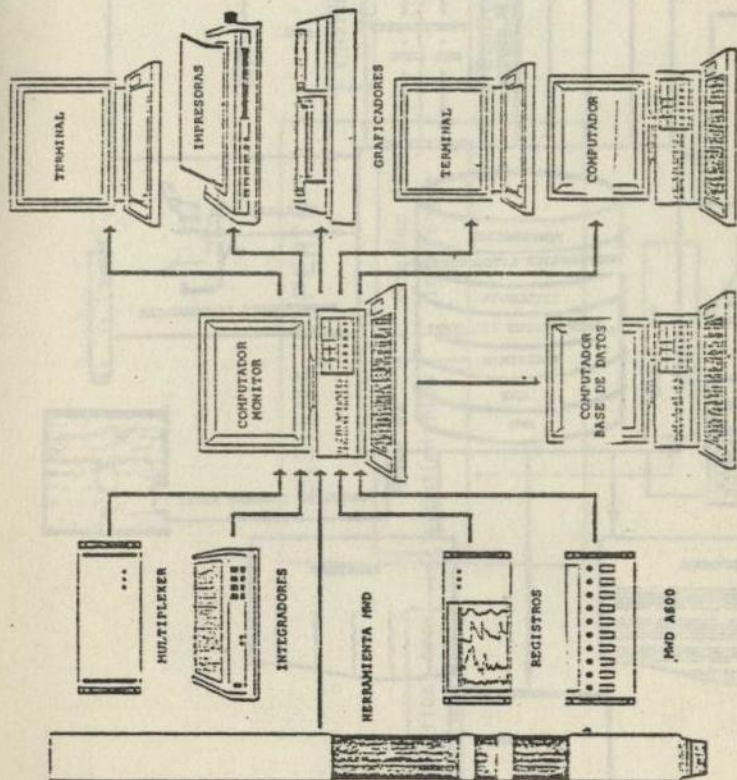


FIGURA N°1



SISTEMA MODERNO DE ADQUISICION MONITOREO
Y PROCESAMIENTO DE DATOS

ORGANIZACION DE UNA BASE DE DATOS PARA LA INDUSTRIA DEL PETROEO

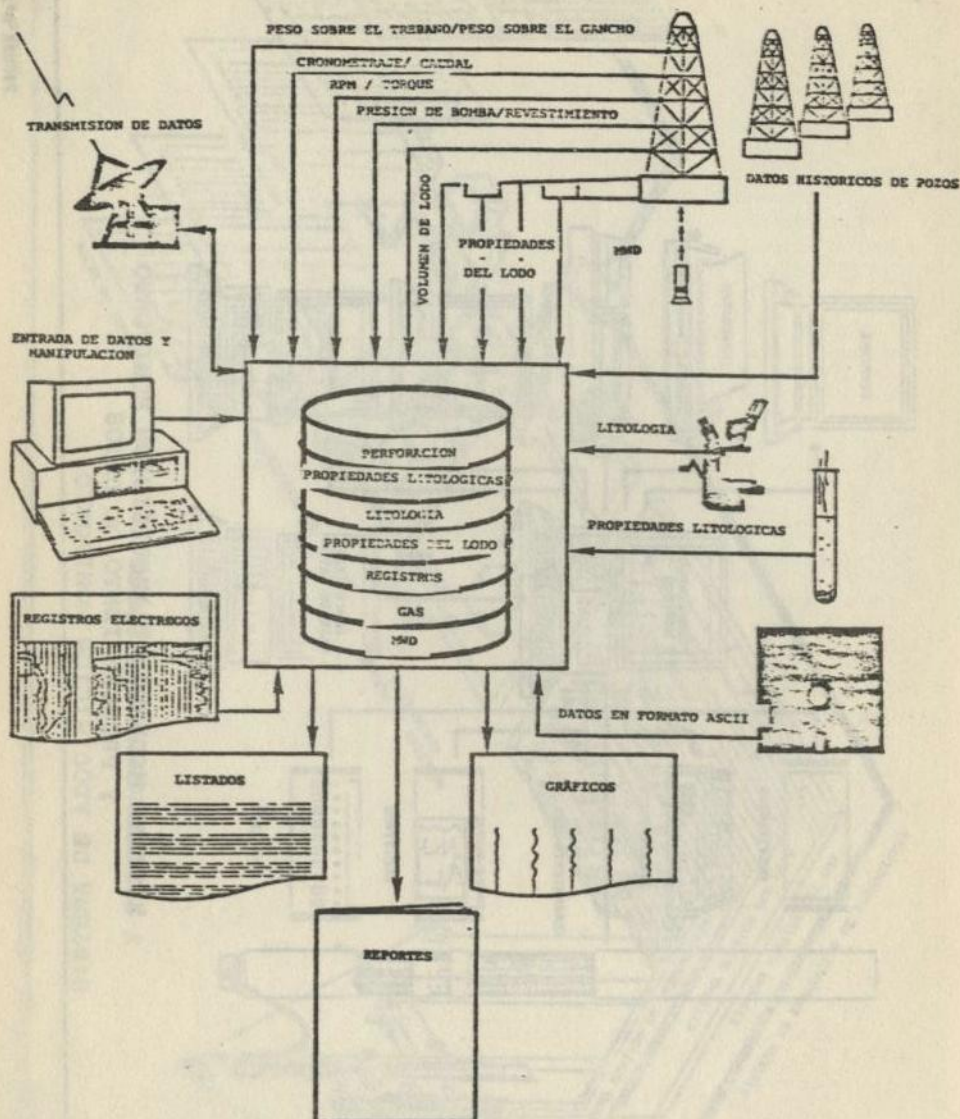


FIGURA N°3

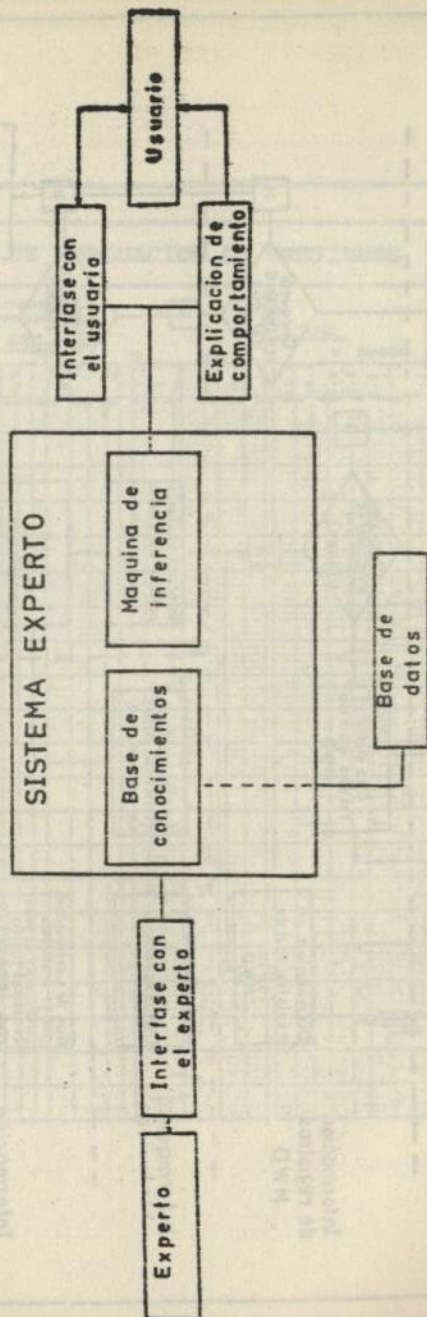


FIGURA Nº 4

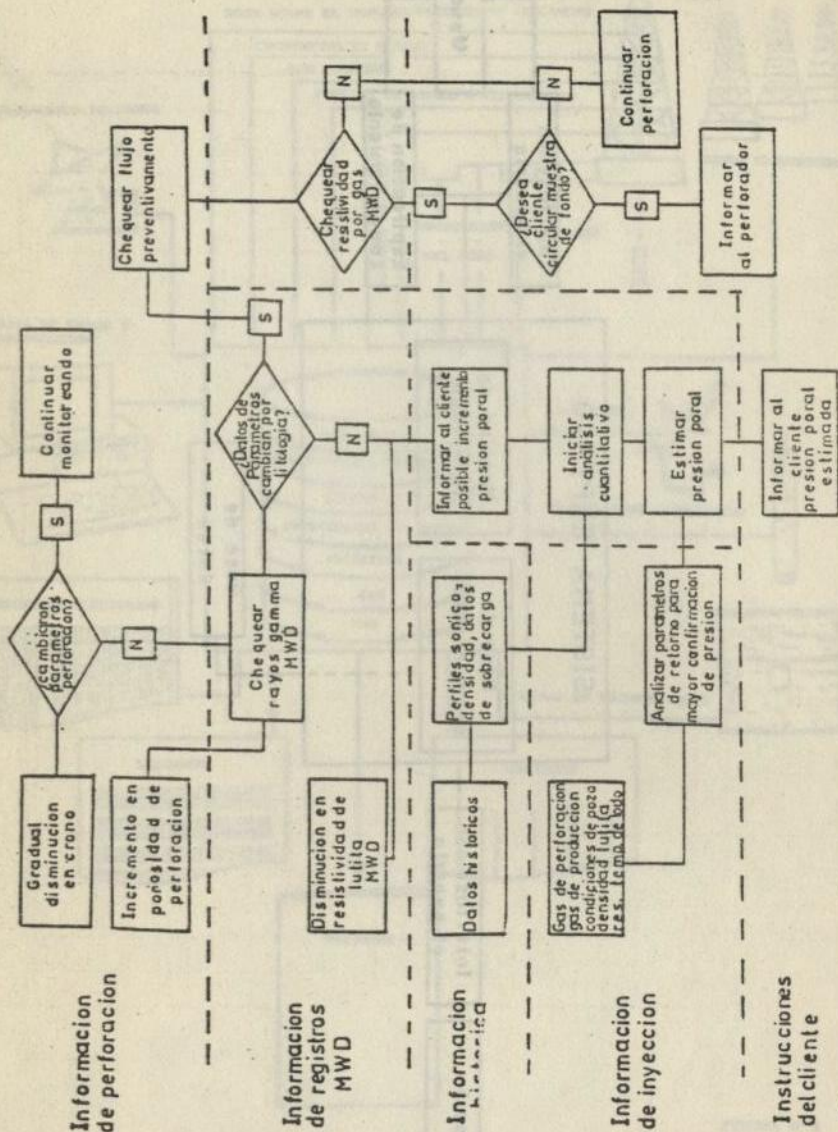


Diagrama de flujo integrado de evaluación de presiones durante la perforación

PERFIL DE EVALUACION DE PRESIONES

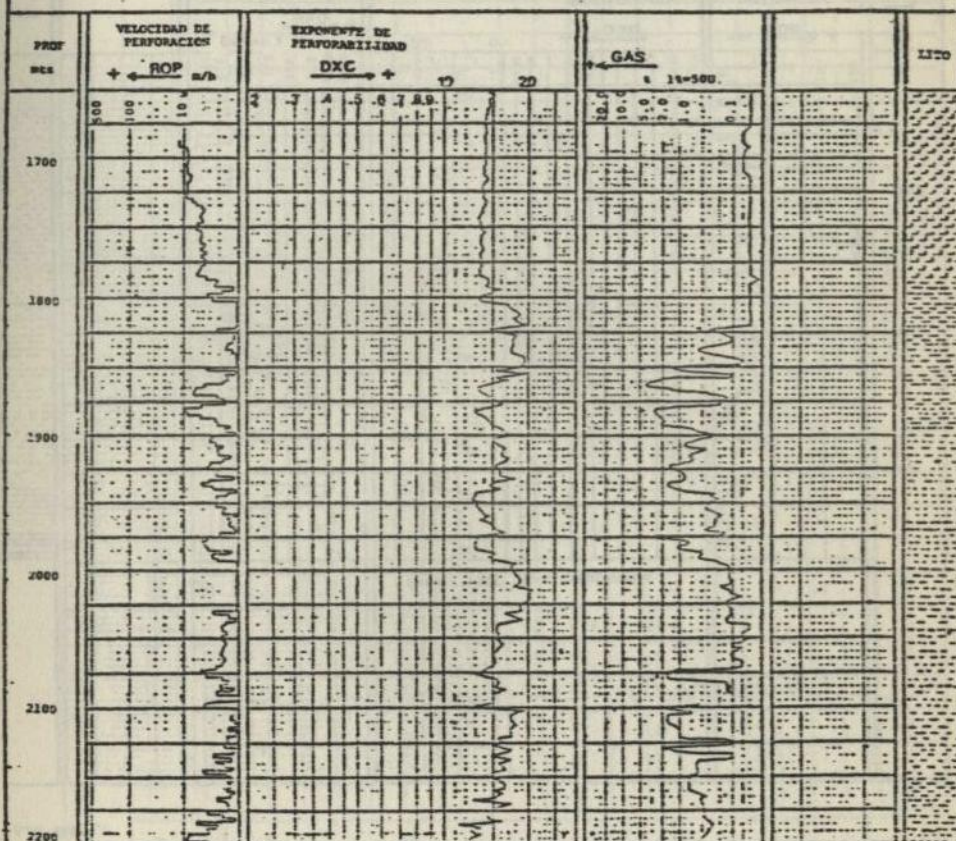


FIGURA N° 6

PERFIL DE EVALUACION DE PRESIONES

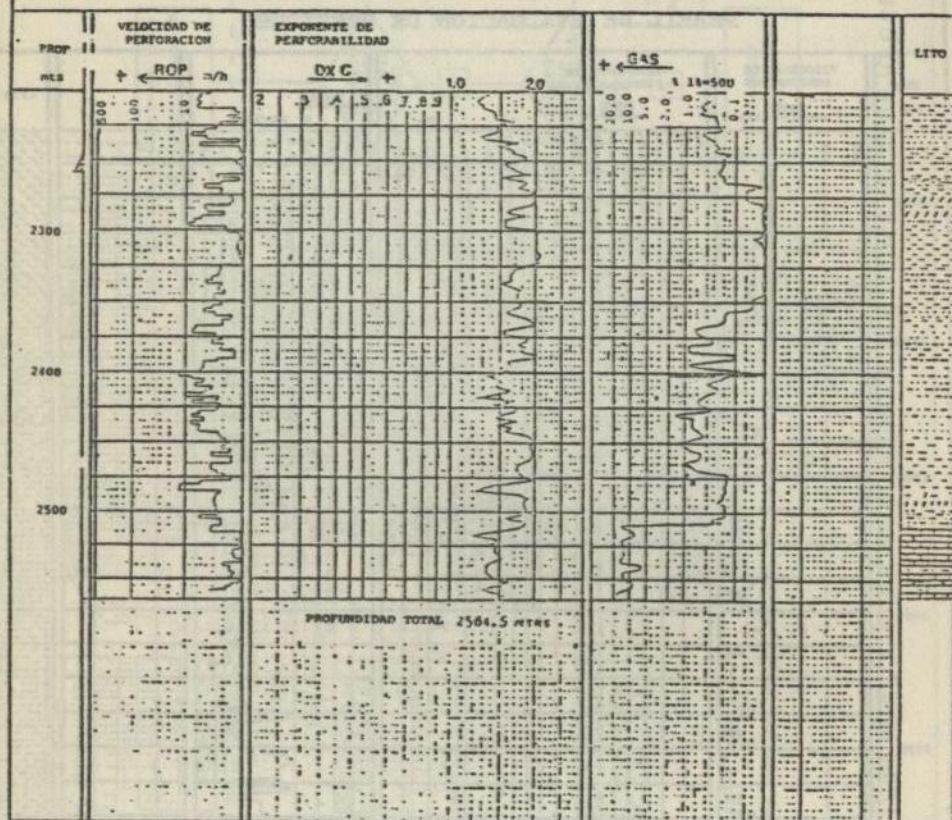


FIGURA N°7

PERFIL DE DATOS DE TEMPERATURA

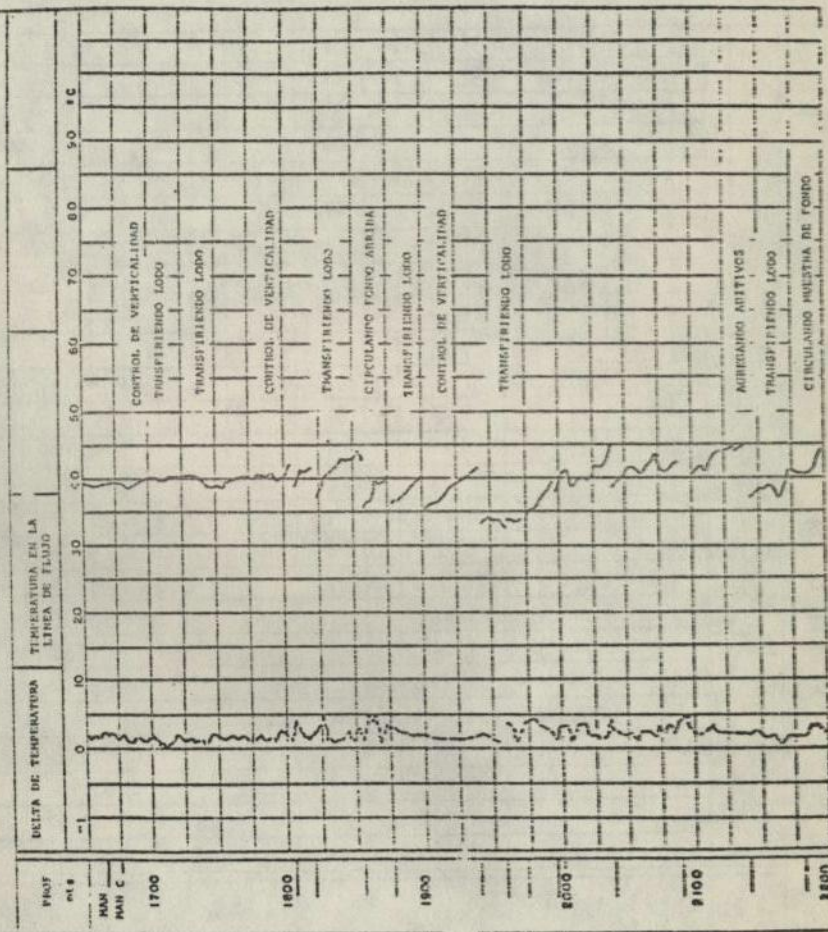


FIGURA N.º 9

PERFIL DE DATOS DE TEMPERATURA

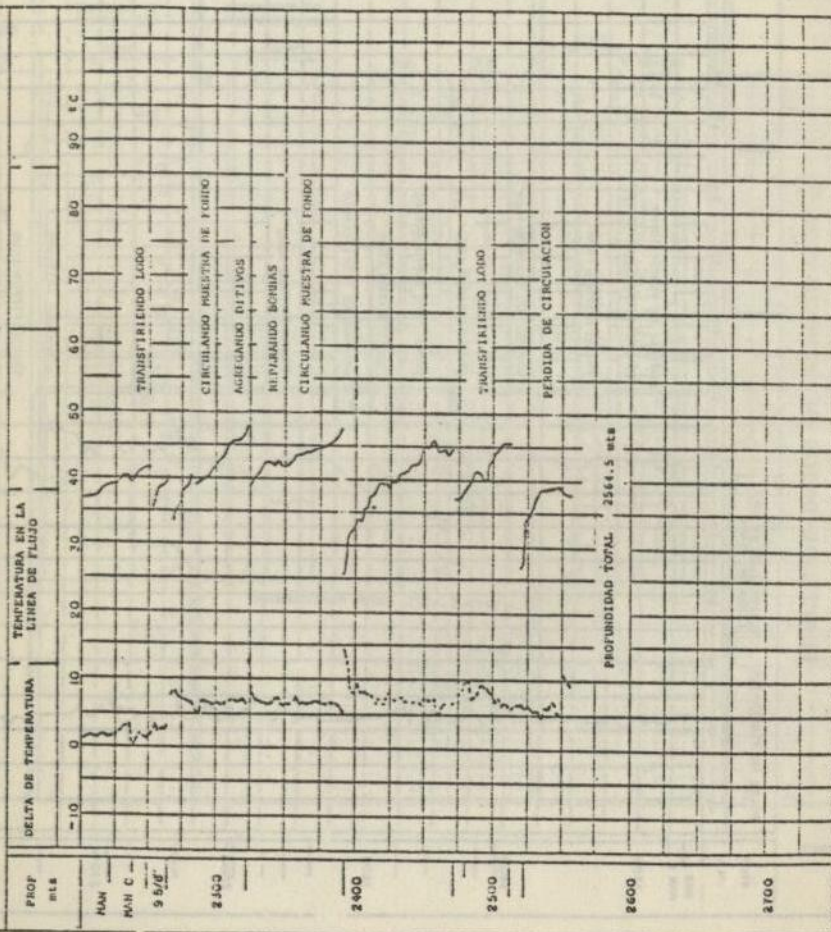


FIGURA N° 9