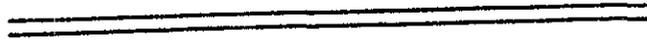


39  
2g.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

SEDIPP : SISTEMA EXPERTO PARA EL DISEÑO  
DE PERFORACIÓN DE POZOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
INGENIERO EN COMPUTACIÓN  
P R E S E N T A N :  
CARLOS ESCAMILLA HERNÁNDEZ  
CARMEN A. DOMÍNGUEZ CASTAÑEDA  
GUILLERMO BECERRA PANTOJA

DIRECTOR DE TESIS : M. I. NICOLÁS KEMPER VALVERDE



Mexico, D.F.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

267330



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Agradecimientos**

A:

M.I. Nicolás Kemper Valverde:

Ya que gracias a su ayuda este trabajo pudo llegar a su *terminación*

Gracias por su apoyo y por brindarnos sus conocimientos y amistad

Dr. Felipe Lara Rosano

Por el apoyo brindado para la realización de esta tesis

Instituto de Ingeniería, Instituto de Investigación en Matemáticas Aplicadas  
(I.I.M.A.S.) y Centro de Instrumentos.

Por permitirnos completar nuestra formación profesional.

Universidad Nacional Autónoma de México y Facultad de Ingeniería

Por abrimos sus puertas, darnos la oportunidad de ser partícipes de un mundo lleno de  
conocimientos y permitirnos *realizar nuestros estudios profesionales*

A nuestros profesores

Por dedicar una parte de sus vidas a brindarnos sus conocimientos sin más recompensa  
que la satisfacción de saberse valorados

## **Dedicatorias**

**A DIOS:**

Por haberme permitido alcanzar este logro en mi vida y haberme iluminado todo este tiempo.

**A MIS PADRES:**

Por haberme apoyado en todo momento para ver realizada mi meta, y confiar en mí, a ellos les dedico todos mis triunfos.

**A MIS HERMANOS:**

*Por ser mis mejores amigos y ayudarme y motivarme a lograr mis objetivos en la vida.*

Guillermo Becerra Pantoja.

**A DIOS:**

Por permitirme finalizar mi formación universitaria.

**A MI PADRE:**

Por enseñarme a no rendirme nunca, por ser un ejemplo de rectitud a seguir, por respetar mis decisiones y apoyarme en todo momento. Gracias por confiar en mí. Sabes que siempre te llevo en mi corazón, papá

**A MI MADRE:**

Por la fortaleza de espíritu y animosidad que me transmites siempre. Porque no sólo me diste el don de la vida, sino que me brindas tus consejos y apoyo cuando más los necesito. Gracias por ser mi mejor amiga, mamá

**A MIS HERMANOS:**

Por esos momentos imborrables que hemos compartido desde la infancia, por darme ánimos en todo momento y alegrar mi vida con sus sonrisas

**A MIS ABUELOS:**

Por la gran riqueza interior que me han proporcionado, por el cariño y los consejos que me han dado a lo largo de mi vida.

**A MI FAMILIA:**

Porque cada uno de ustedes me ha enseñado un sinúmero de cosas buenas. entre ellas, a disfrutar y valorar nuestra unión familiar.

**A MIS AMIGOS:**

Porque me han demostrado que puedo contar con ustedes y me han brindado uno de los más grandes tesoros que existen: su amistad. Gracias por los gratos momentos compartidos.

Carmen Adriana Domínguez Castañeda.

**A MI MADRE:**

Por su ejemplo en todos los aspectos, su incondicional apoyo y, sobre todo, su gran amor.

**A MI HERMANA:**

Por los ánimos que siempre me ha dado y su amor.

**A MIS ABUELOS:**

Por el apoyo y cariño que me brindaron.

Carlos Escamilla Hernández.

## Índice

## Capítulo 1 Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos

1.1 INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL .....	2
1.2. SISTEMAS EXPERTOS .....	3
1.2.1. <i>Definición</i> .....	3
1.2.2 <i>Estructura de los Sistemas Expertos</i> .....	3
1.2.3. <i>Tipos de problemas dirigidos a Sistemas Expertos: beneficios y limitaciones.</i> .....	9
1.2.4 <i>El elemento humano en los Sistemas Expertos</i> . . . . .	13
1.2.5 <i>El proceso de adquisición del conocimiento en Sistemas Expertos</i> .....	14
1.2.6. <i>Métodos de representación del conocimiento en Sistemas Expertos</i> .....	17
1.3. DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS .....	20
1.3.1. <i>Etapa 1. Análisis del problema</i> .....	22
1.3.2. <i>Etapa 2 Análisis y diseño del sistema</i> .....	24
1.3.3. <i>Etapa 3 Desarrollo del prototipo rápido</i> .....	30
1.3.4 <i>Etapa 4 Desarrollo del sistema</i> . . . . .	31
1.3.5. <i>Etapa 5. Implementación</i> .....	32
1.3.6. <i>Etapa 6. Post-implementación</i> .....	33

## Capítulo 2 Diseño de la perforación de pozos petroleros

2.1 INTRODUCCION AL DISEÑO DE LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS.....	35
2.1.1 <i>Factores básicos de diseño</i> . . . . .	35
2.1.2 <i>Clasificación de tipos de pozos</i> .....	36
2.1.3 <i>Proceso de planeación</i> .....	37
2.2 DISEÑO DEL ESTADO MECÁNICO DE UN POZO.....	39
2.2.1 <i>Recopilación y análisis de información</i> . . . . .	39
2.2.2 <i>Obtención de presiones de formación y de fractura</i> . . . . .	42
2.2.3 <i>Determinación de los asentamientos de tr s</i> .....	43
2.2.4 <i>Selección de la geometría del pozo</i> .....	46
2.3 DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DETALLADOS .....	49
2.3.1 <i>Diseño de tuberías de revestimiento</i> . . . . .	49
2.3.2 <i>Programa de barrenas</i> .....	52
2.3.3 <i>Programa de fluidos</i> . . . . .	55
2.3.4 <i>Programa de hidráulica</i> .....	59
2.3.5 <i>Programa de cementación</i> .....	62
2.3.6 <i>Diseño de sartas de perforación</i> . . . . .	70
2.3.7 <i>Estimación de tiempos de perforación</i> .....	72
2.3.8 <i>Selección del equipo de perforación</i> .....	73

## Capítulo 3 Diseño y desarrollo del Sistema Experto

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	77
3.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO .....	79
3.2.1 <i>Funciones del Sistema Experto</i> .....	79
3.2.2 <i>Estructura funcional del Sistema Experto</i> .....	80
3.2.3 <i>Arquitectura de configuración del sistema</i> .....	82
3.2.4 <i>Alcance del Sistema Experto</i> .....	82
3.3 ANÁLISIS DE NECESIDADES PARA EL DESARROLLO.....	83
3.3.1 <i>Requerimientos de software y hardware en la computadora cliente para la elaboración del Sistema Experto</i> .....	83

3.4 ANÁLISIS DE NECESIDADES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE SEDIPP.....	86
3.4.1 <i>Hardware</i> .....	86
3.4.2 <i>Software</i> .....	87
3.5 DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO.....	87
3.5.1 <i>Adquisición del conocimiento</i> .....	87
3.5.2 <i>Expertise del Sistema Experto</i> .....	90
3.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO .....	95
3.6.1 <i>Programación de las pantallas</i> .....	97

**Capítulo 4 Implementación y resultados**

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO.....	117
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS.....	118

**Capítulo 5**

<b>Conclusiones</b> .....	120
---------------------------	-----

<b>Bibliografía</b> .....	124
---------------------------	-----

<b>Apéndice</b> .....	126
-----------------------	-----

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y  
SISTEMAS EXPERTOS**

---

## 1.1. INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El hombre se ha aplicado a sí mismo el nombre científico de *homo sapiens* (hombre sabio) como una valoración de la trascendencia de nuestras habilidades mentales tanto para nuestra vida cotidiana, como en nuestro propio sentido de identidad. Los esfuerzos del campo de la Inteligencia Artificial (IA), se enfocan a lograr la comprensión de entidades inteligentes. Por ello, una de las razones de su estudio es el aprender más acerca de nosotros mismos. A diferencia de la Filosofía y de la Psicología, que también se ocupan de la inteligencia, los esfuerzos de la Inteligencia Artificial están encaminados tanto a la construcción de entidades inteligentes como a su comprensión. No obstante las fases tempranas en las que aún se encuentra, mediante la Inteligencia Artificial ha sido posible crear diversos productos de trascendencia.

El estudio de la inteligencia es una de las disciplinas más antiguas. Por más de 2000 años, los filósofos se han esforzado por comprender cómo se ve, aprende, recuerda y razona, así como la manera que estas actividades deberían realizarse. La llegada de las computadoras a principios de los años cincuenta permitió pasar de la especulación, en torno a estas facultades mentales, a su abordaje mediante una auténtica disciplina teórica y experimental. Pero así como sirvió para crear entidades inteligentes artificiales, la computadora también ha sido una herramienta para probar teorías sobre la inteligencia. La inteligencia es difícil de definir. Las personas del campo de la Inteligencia Artificial emplean la palabra inteligencia para sugerir que su software es más flexible, entendible y fácil de utilizar que otros tipos de software. El "software inteligente" es simplemente más flexible que el convencional; puede responder cuestiones más complejas y además dar recomendaciones. Pero el software tiene que ser escrito por un programador. La Inteligencia Artificial ha resultado ser algo mucho más complejo de lo que muchos imaginaron al principio, porque las ideas modernas relacionadas con ella se caracterizan por su gran riqueza, sutileza y lo interesantes que son. Una definición bien publicada de Inteligencia Artificial es la siguiente: *La Inteligencia Artificial es un comportamiento a través de una máquina tal que si fuera realizado por un humano podría llamarsele inteligente.*

En la actualidad la Inteligencia Artificial abarca una enorme cantidad de subcampos, desde áreas de propósito general, como es el caso de la percepción y del razonamiento lógico, hasta tareas específicas, como el ajedrez, la demostración de teoremas matemáticos, la poesía y el diagnóstico de enfermedades. No es raro que los científicos de otros campos vayan gradualmente incursionando en la Inteligencia Artificial, un área que cuenta con herramientas y vocabularios que a estos científicos les facilitan sistematizar y automatizar todo el trabajo intelectual que les ha

---

---

ocupado buena parte de sus vidas. Por otra parte, a aquellos que laboran en la Inteligencia Artificial se les ofrece la opción de aplicar su metodología en cualquier área que tenga que ver con las tareas del intelecto humano. En este último sentido, la Inteligencia Artificial es un campo genuinamente universal.

## **1.2. SISTEMAS EXPERTOS**

### **1.2.1. DEFINICIÓN**

Un Sistema Experto (SE), es un programa de computadora que emula ó simula el proceso de razonamiento de un experto humano para resolver problemas complejos en un dominio específico mediante el uso de conocimiento. Este conocimiento puede ser heurístico o técnico y es adquirido de un experto humano.

El éxito de los Sistemas Expertos radica en su habilidad para identificar y almacenar conocimiento de un dominio específico y heurística para codificar ésta información de manera que pueda resolver el problema planteado en un tiempo razonable. Se dice que los Sistemas Expertos son inteligentes por su habilidad de manipular decisiones largas, complejas e inciertas y permitir su análisis. Además pueden ayudar a las personas en problemas complejos y vagamente definidos, cosa que no sucede con los programas convencionales.

### **1.2.2. ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS**

Los Sistemas Expertos están compuestos de dos partes principales el ambiente de desarrollo y el ambiente de consulta, que está disponible en tiempo de ejecución del programa (Figura 1.1). El primero es usado por el constructor del Sistemas Expertos para desarrollar los componentes e introducir el conocimiento dentro de la base de conocimientos. El segundo por el usuario presumiblemente inexperto para obtener algún consejo o ayuda

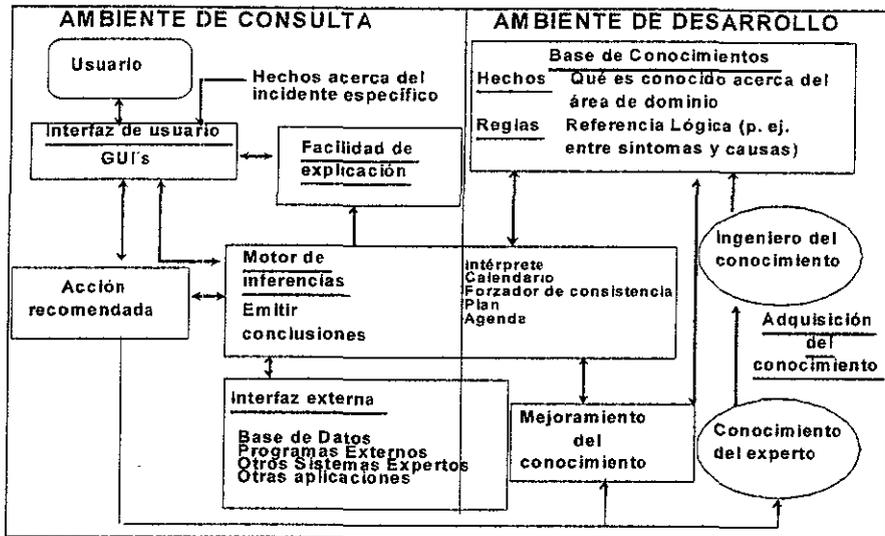


Figura 1.1. Estructura de un Sistema Experto.

### Subsistema de adquisición del conocimiento

Adquisición del conocimiento es la acumulación, transferencia y transformación de la expertés de alguna fuente de conocimiento a un programa de computadora para construir y expandir la base de conocimientos. Fuentes potenciales de conocimiento incluyen expertos humanos, libros de texto, bases de datos, reportes especiales de investigación e ilustraciones.

Adquirir el conocimiento de los expertos es una tarea compleja que frecuentemente crea un "cuello de botella" en la construcción del Sistema Experto. Para esta extracción del conocimiento se requiere de una persona llamada Ingeniero del Conocimiento para que ella interactúe con el o los expertos humanos en la construcción de la base de conocimientos. Generalmente este Ingeniero del Conocimiento ayuda al experto en el área del problema interpretando e integrando respuestas de los expertos en preguntas, estableciendo analogías, poniendo contraejemplos y trayendo a la luz dificultades conceptuales.

---

## Base de conocimientos

La base de conocimientos contiene el conocimiento necesario para entender, formular y resolver problemas. Este incluye dos elementos básicos. (1) Hechos, tales como la situación del problema y la teoría referente al área del problema a abordar y (2) Heurísticas especiales o reglas que los expertos humanos usan para dirigir el conocimiento con el fin de resolver problemas específicos de un dominio en particular. Las heurísticas expresan un juicio informal del conocimiento en una área de aplicación. Las estrategias globales, que pueden ser ambas, tanto heurísticas como teorías del área del problema son también incluidas en la base de conocimiento. Conocimiento, no únicamente hechos, es la materia prima de los Sistemas Expertos. La información dentro de la base de conocimientos es incorporada dentro de un programa de computadora mediante un proceso llamado *representación del conocimiento*

## Motor de inferencias

El "cerebro" del Sistema Experto es el motor de inferencias, también conocido como estructura de control o intérprete de reglas (en un Sistema Experto basado en reglas). Este componente es esencialmente un programa de computadora que proporciona una metodología para razonar acerca de la información en la base de conocimiento y en el "lugar de trabajo" o pizarrón (*Blackboard*), y para formular conclusiones. Este componente proporciona instrucciones acerca de como usar el conocimiento del sistema implementando agendas que organizan y controlan los pasos involucrados en la solución de problemas siempre que una consulta al sistema sea realizada

El motor de inferencias tiene tres elementos principales:

Un *intérprete* (un intérprete de reglas en varios sistemas), el cual ejecuta la búsqueda sobre los elementos de la agenda aplicando las reglas basadas en conocimiento correspondientes.

Un *calendario* (*scheduler*) el cual mantiene un control sobre la agenda. Estima los efectos de aplicar reglas de inferencia tomando en consideración prioridades u otros criterios de los elementos de la agenda.

Un *forzador de consistencia* que intenta mantener una representación consistente de la solución que se está proporcionando

---

## Mecanismos de razonamiento y búsqueda

Los Sistemas Expertos emplean dos estrategias para resolver silogismos hipotéticos.

- *Encadenamiento hacia atrás.* La máquina de inferencia comienza con una meta e investiga para encontrar una regla que tenga a la meta como el consecuente. Si esto ocurre, entonces el motor de inferencias verifica si esa regla puede ser o no ser concluida de otra regla. Este proceso de encadenamiento hacia atrás continúa hasta que se encuentre una regla que pueda encadenarse y cuyo antecedente sea independiente. Esto es, el encadenamiento hacia atrás es dirigido por metas en este tipo de estrategia de solución de problemas.
- *Encadenamiento hacia adelante.* El mecanismo de inferencia comienza evaluando la primera regla en la base de conocimientos. Si el antecedente de esa primera regla es verdadera, entonces el consecuente de la regla es usado para buscar una condicional con un antecedente que concuerde. Este encadenamiento hacia adelante continúa hasta que el sistema es incapaz de hacer coincidir un consecuente con un antecedente. A causa de que el sistema *razona* a partir de información o datos proporcionados por el usuario, se dice ser un proceso dirigido por *datos*.

Para lograr analizar el conocimiento han surgido varias técnicas, entre ellas tenemos.

*Árboles de búsqueda:* Un árbol de búsqueda muestra gráficamente las relaciones del problema y puede tratar situaciones complejas de manera compactada (Figura 1.2). Se componen de nodos que representan las metas y las ligas representan decisiones. La raíz del árbol se encuentra a la izquierda. Usualmente describe el tema o descripción. De la raíz parten otras ramas, llamadas hijos, son los nodos intermedios. Los nodos que no tienen hijos o sucesores, se denominan nodos hojas. Estos nodos indican el final de la búsqueda, puesto que marcan una meta o un final. Los arcos de comunicación entre nodos se denominan ramas. En función de la jerarquía, los árboles se dividen en niveles, estos niveles indican la profundidad del árbol.

Las ramas *and/or* son otro aspecto de los árboles de búsqueda. Las ramas de un nodo pueden representar dos o más alternativas de metas o submetas. Una ruta u otra pueden conducirnos a la meta. A estos nodos los denominamos *nodos OR*.

En algunos casos, quizá el nodo represente un estado del problema que debe ser alcanzado antes de llegar a la meta. Este tipo de nodo se denomina *AND*.

Existen dos métodos de búsqueda empleados en los árboles de búsqueda:

- *Breadth-first search (búsqueda primero a lo ancho)*: En este método se examinan todos los nodos de un árbol de búsqueda iniciando por el nodo raíz y trabajando con un nivel a un tiempo de izquierda a derecha, hasta llegar a un nodo terminal. El nodo terminal no es necesariamente un nodo meta, también puede tratarse de un nodo muerto. Este procedimiento es muy útil cuando el número de rutas de cada meta es relativamente pequeño y el número de niveles en cada rama es de diferente profundidad.
- *Depth-first search (búsqueda primero en lo profundo)*: Este tipo de búsqueda inicia en el nodo raíz y trabaja bajando de nivel. Se aplica un operador para que el nodo genere el siguiente nodo hacia el próximo nivel en la secuencia. Este proceso continúa hasta que se alcanza una solución o se fuerza a un final muerto. Este método es recomendable en casos en los que existan rutas cortas y no se presenten sub-ramas largas.

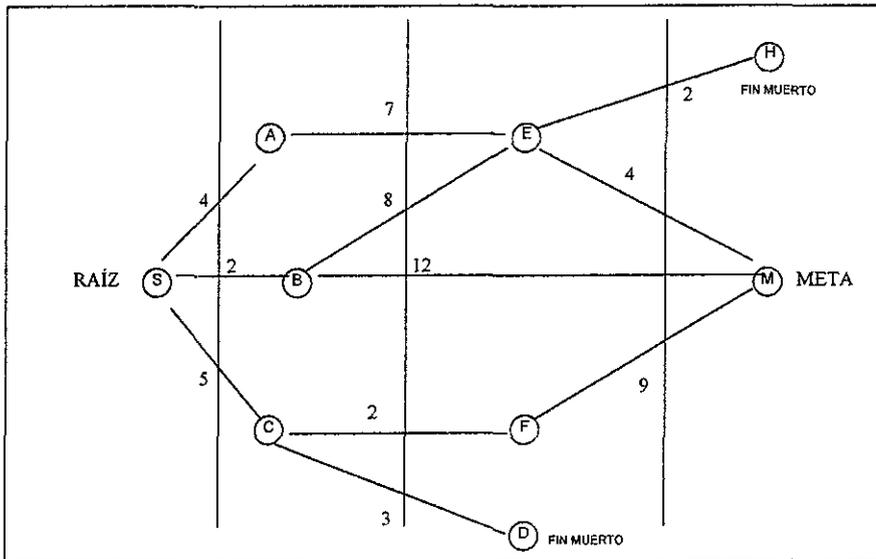


Figura 1.2. Representación gráfica de un árbol de búsqueda

---

## **Interfaz con el usuario**

Los Sistemas Expertos contienen una interfaz "amigable" con el usuario. El término *amigable* se refiere a que el sistema es fácil de usar y atractivo a la vista del usuario con el fin de facilitar la comunicación entre éste y la computadora. Esta interfaz debe llevar a cabo esta comunicación en un lenguaje natural para el usuario. Una interfaz de usuario agradable es condición necesaria para el uso exitoso de un Sistema Experto.

## **Subsistema de explicación**

La habilidad para rastrear desde las conclusiones hasta las fuentes que le dieron origen es muy importante para el proceso de transferir la expertés y para el proceso de solución de problemas. Este subsistema de explicación tiene la capacidad de rastrear el proceso de solución y explicar el comportamiento del Sistema Experto proporcionando respuestas a preguntas tales como.

¿ Por qué cierta pregunta fue hecha por el Sistema Experto?

¿ Cómo fue alcanzada cierta conclusión?

¿ Por qué cierta alternativa no fue considerada?

¿ Cuál es el plan para alcanzar la solución?

## **Interfaz externa**

Un Sistema Experto no es un elemento aislado, muchas veces depende de los resultados obtenidos en otras aplicaciones; éstas pueden ser bases de datos, programas de cómputo convencional externos al Sistema Experto, e incluso otro Sistema Experto. También es posible que las conclusiones alcanzadas por el Sistema Experto sean empleadas por estas otras aplicaciones. Por eso se considera en la estructura de los Sistemas Expertos la parte de interfaces externas.

## **Sistema de refinamiento del conocimiento**

Los expertos humanos tienen un sistema que mejora el conocimiento que poseen; esto es, ellos pueden analizar su propio rendimiento, aprender de él y mejorarlo para futuras consultas. Similarmente, tal evaluación es necesaria en el aprendizaje computarizado, así que el programa deberá ser capaz de analizar las razones de ya sea de su éxito o de sus fallas. Esto podría traer

mejoramientos a la base de conocimientos y a un más efectivo razonamiento. Este componente no está disponible en Sistemas Expertos comerciales en este momento, pero está siendo desarrollado en muchas universidades e institutos de investigación

### 1.2.3. TIPOS DE PROBLEMAS DIRIGIDOS A SISTEMAS EXPERTOS: BENEFICIOS Y LIMITACIONES

#### Tipos de problemas dirigidos a Sistemas Expertos

Los Sistemas Expertos pueden ser clasificados en muchas formas. Una manera es hacer una categorización genérica de las áreas de problemas generales a los cuales el Sistema Experto está dirigido. Por ejemplo, el diagnóstico puede ser definido como "un sistema que infiere malos funcionamientos a través de observaciones". El diagnóstico es una actividad genérica realizada en medicina, estudios organizacionales, operaciones de cómputo, etc. Las categorías genéricas de Sistemas Expertos son listadas en la Tabla 1.1. Algunos Sistemas Expertos pertenecen a dos o más categorías.

Categoría	Problema dirigido
Interpretación	Inferir descripciones de situaciones a partir de observaciones.
Predicción	Inferir posibles consecuencias a partir de situaciones dadas.
Diagnosis	Inferir malos funcionamientos a partir de observaciones
Diseño	Configurar objetos bajo restricciones.
Planeación	Desarrollar planes para llevar a cabo metas.
Monitoreo	Comparar observaciones para encontrar anomalías.
Depuración	Prescribir remedios para malos funcionamientos.
Reparación	Ejecutar un plan para administrar un remedio prescrito
Instrucción	Diagnóstico, Depuración y Corrección del rendimiento de estudiantes
Control	Interpretación, predicción, reparación y monitoreo del comportamiento de un sistema.

Tabla 1.1. Categorías Genéricas de Sistemas Expertos.

---

## Beneficios de los Sistemas Expertos

Los Sistemas Expertos pueden proporcionar beneficios importantes a los usuarios. Algunos *beneficios potenciales* son discutidos a continuación.

**Incrementar el rendimiento y la productividad.** Los Sistemas Expertos pueden trabajar más rápido que los humanos. Incrementar el rendimiento significa necesitar menos trabajadores y reducir costos.

**Incrementar la calidad.** Los Sistemas Expertos pueden incrementar la calidad proporcionando un consejo consistente y reduciendo la tasa de error.

**Reducción de tiempos.** Muchos Sistemas Expertos operacionales son usados para diagnosticar *malos funcionamientos* y *prescribir reparaciones*. Usando un Sistema Expertos es posible reducir tiempos significativamente.

**Captura de experiencia escasa.** La escasez de experiencia viene a ser evidente en situaciones donde no existan muchos expertos para una determinada tarea, el experto este a punto de retirarse o dejar el trabajo o la expertés que se requiera tenga que ser usada en un territorio extenso.

**Flexibilidad.** Los Sistemas Expertos pueden ofrecer flexibilidad en el campo de la manufactura o en el de la producción de servicios.

**Eliminación de la necesidad de adquirir equipos costosos.** En muchas situaciones, un experto humano podría realizar *complejas tareas de monitoreo* y *control*. En el caso que el experto no estuviera disponible, se requeriría la adquisición de equipo caro que realizaría las mismas funciones. Los Sistemas Expertos pueden realizar las mismas tareas con instrumentos de más bajo costo, porque puede realizar sondeos completos y rápidos de la información proporcionada por los instrumentos.

**Operación en ambientes peligrosos.** Muchas tareas requieren humanos que deben operar en ambientes peligrosos. Los Sistemas Expertos podrían evitar a los humanos tales ambientes. Los Sistemas Expertos podrían implementarse en conflictos militares extremadamente peligrosos o podrían evitar a los trabajadores *tratar con calor, humedad o ambientes tóxicos como en una planta nuclear que presenta mal funcionamiento*.

**Accesibilidad al conocimiento y ayuda a nivel del escritorio.** Los Sistemas Expertos hacen al conocimiento (y a la información) más accesible. La gente puede preguntar a los sistemas y recibir consejos. Una área de aplicabilidad son las ayudas de escritorio que actúan a la vez como soporte técnico.

**Confiabilidad.** Los Sistemas Expertos son confiables. Ellos no se aburren o se cansan, no se enferman o hacen huelgas. Los Sistemas Expertos consistentemente ponen atención a todos los detalles y no pasan por alto *información relevante ni soluciones potenciales*.

---

**Incrementar las capacidades de otros equipos computarizados.** La integración de Sistemas Expertos con otros sistemas hace a estos más efectivos y los hace proporcionar resultados de más alta calidad.

Integración de las opiniones de varios expertos. En ciertos casos, el Sistemas Expertos nos fuerza a integrar las opiniones de varios expertos y esto podría incrementar la calidad de las conclusiones o consejos.

**Integración de las opiniones de varios expertos.** En ciertos casos, el Sistemas Expertos nos forza a integrar las opiniones de varios expertos y esto podría incrementar la calidad de las conclusiones o consejos

**Habilidad para trabajar con información incompleta o desconocida.** A diferencia de los sistemas de cómputo convencionales, los Sistemas Expertos pueden, como los expertos humanos trabajar con información incompleta. El usuario puede responder con un "no se" o un "no estoy seguro de la respuesta" en una o más preguntas (por supuesto, no todas) que el Sistema Experto haga durante una consulta y el Sistema Experto deberá ser todavía capaz de proporcionar una conclusión aunque con cierto grado de incertidumbre. Los Sistemas Expertos pueden trabajar con probabilidades.

**Proporcionar entrenamiento.** Los Sistemas Expertos proporcionan entrenamiento. Principiantes que trabajan con Sistemas Expertos se hacen cada vez más experimentados. La herramienta de explicación puede también servir como dispositivo de entrenamiento

**Mejoramiento de la solución de problemas.** El mejoramiento del proceso de solución de un problema es posible en un Sistemas Expertos ya que incluye los elementos de juicio de las personas más expertas dentro del análisis

**Habilidad para resolver problemas complejos.** Los Sistemas Expertos podrán algún día resolver problemas cuya complejidad rebasa la habilidad humana. Algunos Sistemas Expertos ya son capaces de resolver problemas donde el ámbito de conocimiento excede por mucho el de un individuo. Sin embargo, estos problemas tienen un dominio bastante restringido

**Transferencia del conocimiento a lugares remotos.** Uno de los grandes potenciales de los Sistemas Expertos es que es fácil transferir el conocimiento a través de las fronteras internacionales. Esto podría ser muy importante para ayudar al desarrollo de países que no pueden pagar por el conocimiento poseído por expertos humanos.

---

## Problemas y limitaciones de los Sistemas Expertos

Las metodologías disponibles de Sistemas Expertos no son del todo consistentes ni efectivas, ni siquiera para aquellos tipos de problemas de las categorías genéricas (Véase Tabla 1.1). Para aplicaciones de modesta complejidad, algunos códigos de Sistemas Expertos, especialmente aquellos construidos con lenguajes de programación procedural, son generalmente difíciles de entender, depurar, extender y mantener. Se enumeran a continuación algunos factores y problemas que han frenado la propagación de los Sistemas Expertos comerciales.

- 1 El conocimiento no está siempre fácilmente disponible.
- 2 La expertés es difícil de extraer de los expertos humanos.
- 3 El método de solución de cada experto a un problema, podría ser diferente aunque no por eso deje de ser correcta.
4. Es difícil, aún para los más adiestrados expertos, abstraer la solución de los problemas cuando ellos se encuentran bajo la presión del tiempo.
5. Los Sistemas Expertos trabajan bien solamente en un dominio restringido, muchas veces en dominios muy restringidos.
- 6 Muchos expertos no tienen medios independientes de verificar si sus conclusiones son razonables.
- 7 El vocabulario que los expertos usan para expresar hechos y sus relaciones, es frecuentemente limitada y no es entendible para otros.
- 8 Se necesita ayuda de ingenieros del conocimiento quienes son escasos y sus servicios son bastante caros. Un hecho que podría significar que el precio de la construcción de un Sistema Experto se incremente de manera importante.
- 9 La falta de confianza de los usuarios finales en los Sistemas Expertos, es una barrera significativa
10. Los Sistemas Expertos podrían no ser capaces de arribar a conclusiones, especialmente en las etapas de prototipo del sistema.

Estas limitaciones claramente indican que los Sistemas Expertos de hoy no tienen un comportamiento humano generalmente llamado inteligente. Muchas de estas limitaciones disminuirán o desaparecerán con los mejoramientos tecnológicos a medida que avance el tiempo

---

## 1.2.4. EL ELEMENTO HUMANO EN LOS SISTEMAS EXPERTOS

Al menos dos humanos, y posiblemente más, participan en el desarrollo y uso de un Sistema Experto. Como mínimo existen un experto y un usuario. Frecuentemente, existe un Ingeniero del Conocimiento y un programador. Cada uno tiene una función específica.

### **El experto**

El experto, es una persona que tiene el conocimiento especial, juicio, experiencia y los métodos que le dan la habilidad para proporcionar un consejo y resolver problemas. Es el dominio del trabajo del experto el que proporciona el conocimiento sobre el cual el Sistema Experto será construido. El experto conoce cuáles son los hechos importantes y entiende el significado de las relaciones entre estos hechos.

Usualmente, el cuerpo inicial de conocimiento, incluyendo términos y conceptos básicos, está documentado en libros de texto, manuales de referencia o catálogos de productos. Sin embargo, esto no es suficiente para darle poderío al Sistema Experto. No toda la experiencia puede ser documentada porque muchos expertos están indecisos acerca del proceso mental por el cual ellos dieron un diagnóstico o como ellos resolvieron un problema. Por lo tanto se requiere de un proceso interactivo para adquirir información adicional del experto para expandir la base de conocimientos. Este proceso es casi siempre complejo y usualmente requiere la intervención del Ingeniero del Conocimiento.

### **El Ingeniero del Conocimiento**

El Ingeniero del Conocimiento ayuda al experto a estructurar el área del problema, interpretando e integrando respuestas de humanos en preguntas, estableciendo analogías, planteando contraejemplos y remarcando dificultades conceptuales. El Ingeniero del Conocimiento es, por lo general el desarrollador del sistema. La falta de experiencia del Ingeniero del Conocimiento en la forma de representar el conocimiento, constituye el problema principal a superar en la construcción de un Sistema Experto.

### **El usuario**

Los Sistemas Expertos tienen muchos tipos de usuarios:

- Un cliente (experto) que busca un consejo directo. En tal caso el Sistema Experto actúa como un consejero o consultor.

- 
- Un estudiante que quiere aprender. En tal caso el Sistema Expertos actúa como un instructor.
  - Un constructor de Sistemas Expertos que quiere mejorar o incrementar la base de conocimientos. En esta situación el Sistema Experto actúa como socio
  - Un experto. En cuyo caso el Sistema Experto actúa como colega

Por ejemplo, un Sistema Experto puede proporcionar una "segunda opinión", así el experto puede validar su juicio. Un experto puede usar el sistema como un asistente para llevar a cabo análisis rutinarios o cálculos o para buscar una información clasificada. Las capacidades de los Sistemas Expertos fueron desarrolladas para ahorrar tiempo y esfuerzo. A diferencia de los sistemas de cómputo tradicionales, los Sistemas Expertos proporcionan respuestas directas a preguntas y no únicamente información y soporte.

## **1.2.5. EL PROCESO DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO EN SISTEMAS EXPERTOS**

La adquisición del conocimiento es el proceso por el cual los desarrolladores de Sistemas Expertos investigan el conocimiento del dominio específico que algún experto usa para realizar una tarea específica. Este conocimiento es entonces implementado para formar un Sistema Experto. La parte esencial de un Sistema Experto es su conocimiento y su adquisición es probablemente la tarea más importante en el desarrollo de un Sistema Experto. La adquisición del conocimiento para Sistemas Expertos es todavía un nuevo campo y aún no puede considerarse una ciencia.

### **Selección del experto**

El dominio del experto es la fuente de conocimiento para el Sistema Experto. Por lo tanto, aún antes de que el proceso de adquisición del conocimiento empiece, una decisión crucial debe ser hecha: la elección de experto para el proyecto. Debido a la importancia de esta elección, deben tomarse en cuenta criterios importantes acerca del dominio del Sistema Experto y que esté relacionado con la elección del dominio del experto humano. Estas consideraciones primariamente se relacionan con el grado con el cual el experto funcione bien como fuente de conocimiento.

### **Importancia de la selección del experto**

Tiempo y esfuerzo considerable son necesarios para la elección del experto. La elección afecta el desarrollo del cualquier Sistema Experto. Es importante elegir un experto que haya

---

desarrollado actividades propias al dominio del Sistema Experto por un periodo de tiempo considerable. El experto debe tener suficiente experiencia para ser capaz de establecer un dominio del problema y establecer reglas heurísticas que son la meta principal del proceso de adquisición de conocimiento. También debe seleccionarse un experto que sea capaz de "comunicar" su conocimiento, juicio y experiencia personal y los métodos usados para aplicar estos elementos en la solución de un problema en particular.

El experto debe ser cooperativo con el equipo de proyecto o en el peor de los casos no provocar antagonismos dentro del mismo. Es tarea difícil, sobre todo en el desarrollo de Sistema Experto grandes, tener que examinar en detalle la manera en la cual un experto toma decisiones. Por tal motivo, si el experto no está interesado en participar en el proyecto, será mejor no tomarlo en cuenta. Al seleccionar un experto también debemos preguntarle si está dispuesto a dedicarle una cantidad considerable de tiempo a la construcción de la base de conocimientos, ya que esto no representa una actividad fácil.

### **Selección del dominio**

Además de la selección del experto es importante tener un criterio para seleccionar un dominio apropiado para el desarrollo del Sistema Experto y que esté directamente relacionado con la facilidad de adquirir conocimiento. Se presentan enseguida algunos criterios para esta selección.

- El dominio debe ser tal que el Sistema Experto no tenga que realizar toda la tarea de utilidad. algún grado de carencia puede ser tolerado (al menos inicialmente). Si lo anterior es verdadero, el proyecto de desarrollo del Sistema Experto puede cubrir un subdominio y entonces de ahí expandirse a otros subdominios. Este método de desarrollo permite la adquisición de conocimiento a través de subdominios en Sistemas Expertos con un dominio grande.
- La tarea debe ser particionable. Particionable implica que debe permitir desarrollar un prototipo rápido del Sistema Experto y de ahí expandirse lentamente hacia tareas más complejas.
- El dominio debe ser claramente estable. Un dominio inestable puede llevarnos a situaciones donde un gran número de estructuras de conocimiento deben ser consideradas, y por lo tanto, el proceso de desarrollo puede alargarse de manera considerable.

---

## **Técnicas de adquisición del conocimiento**

Antes de empezar a discutir las principales técnicas de adquisición del conocimiento es de utilidad tener en cuenta los siguientes aspectos para que el proceso de adquirir el conocimiento sea más rápido y fácil:

Planear y programar las reuniones con el experto. Esta organización permitirá maximizar el acceso al experto y minimizar las interrupciones a éste. El Ingeniero del Conocimiento debe ser muy respetuoso del tiempo del experto para evitarle molestias al mismo y conseguir que éste colabore estrechamente en el desarrollo del Sistema Experto, por lo tanto el cumplimiento lo más estricto posible de este calendario es una tarea altamente recomendable.

Las reuniones con el experto deben realizarse, siempre que sea posible, con la ayuda de una computadora en la cual se encuentre instalado el software en el que se va a desarrollar o se esté desarrollando el Sistema Experto, de esta forma el experto puede hacer comentarios o sugerencias muy valiosas para el análisis, diseño y depuración del prototipo del Sistema Experto.

El Ingeniero del Conocimiento que desarrolla un Sistema Experto muy a menudo esta completamente desfamiliarizado con el dominio del Sistema Experto. Por lo tanto y como parte del proceso de adquisición del conocimiento, el Ingeniero del Conocimiento debe obtener un panorama general del dominio del experto. Debe buscar terminologías y referencias bibliográficas básicas para facilitar el proceso de adquisición. Referencias tales como libros u otros materiales escritos que tratan algunos temas del dominio pueden ser incluidos como parte de la base de conocimientos inicial, ya que el experto ha extraído y organizado su expertés a través de los mismos. Esta organización inicial es muy útil. El Ingeniero del Conocimiento debe explicar en detalle al experto, los pasos que deben seguirse para adquirir conocimiento y construir un Sistema Experto. Esto permitirá al experto entender la metodología de construcción de la base conocimiento y ayudar en lo posible a mejorarla.

---

---

## 1.2.6. MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN SISTEMAS EXPERTOS

Una vez que el conocimiento es adquirido, este necesita ser organizado. El programa de software que contiene el conocimiento es llamado base de conocimientos. Similar a una base de datos, una base de conocimiento, puede ser organizada en muchas configuraciones o esquemas diferentes. El conocimiento puede ser organizado en una o más configuraciones (denominados esquemas). Esta es análoga a una base de datos en cuanto a que puede ser organizada como relacional, jerárquica o de forma de red. Además, el conocimiento dentro del motor de inferencia de la base de conocimiento podría ser organizado diferentemente.

Una variedad importante de esquemas de **representación del conocimiento** han sido desarrollados al pasar de los años. Ellos comparten dos características comunes. Primero, pueden ser programados con lenguajes existentes de computadora y almacenados en memoria. Segundo, ellos son diseñados de tal forma que los hechos y otro conocimiento contenido dentro de los mismos pueda ser usado en el razonamiento. Esto es, la base de conocimiento contiene una estructura de datos tal que puede ser manipulada por un sistema de inferencias que usa una búsqueda y técnicas de reconocimiento de patrones sobre la base de conocimiento para responder preguntas, dar conclusiones o realizar cualquier otra función inteligente.

Existen dos tipos generales de representación del conocimiento. Aquellos que ayudan al análisis y aquellos que son usados en la etapa de codificación del sistema. La relación entre los dos tipos y el resto del proceso de ingeniería del conocimiento se muestra en la Figura 1.3.

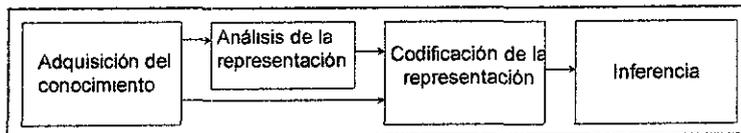


Figura 1.3. Técnicas de representación del conocimiento.

### Reglas de producción

Los sistemas de producción son esquemas de representación modular del conocimiento que están encontrando popularidad en muchas aplicaciones de Inteligencia Artificial. La idea básica de estos sistemas es que el conocimiento es presentado como **reglas de producción** dentro de la

---

forma de la dupla condición - acción "SI (IF) esta condición (premisa o antecedente) ocurre, ENTONCES (THEN) alguna acción (resultado, conclusión o consecuencia) debe (o debería) ocurrir

Cada regla de producción en una base de conocimiento implementa una parte pequeña y autónoma de experiencia que puede ser desarrollada y modificada independientemente de otras reglas. Cuando combinamos y alimentamos el motor de inferencia, el conjunto de reglas se comporta de forma sinérgica, produciendo mejores resultados que la suma de resultados de reglas individuales. En realidad, en muchos sistemas, las reglas basadas en conocimiento no son independientes. Ellas se vuelven rápidamente interdependientes. De esta forma, agregar una nueva regla, podría ocasionar conflictos con las reglas existentes y podría también ocasionar una revisión de atributos y reglas

La utilidad de las reglas de producción se deriva del hecho de que las condiciones para las cuales cada regla es aplicable son explícitas y, en teoría, las interacciones entre las reglas están minimizadas. Además, las reglas involucran una sintaxis simple y son flexibles y fáciles de entender, pero sobre todo mejoran la facilidad de explicación.

Las reglas de producción, pueden ser vistas en algún sentido, como una simulación del comportamiento cognoscitivo de los expertos humanos. De acuerdo con este punto de vista, las reglas no son solamente un formalismo ordenado para representar conocimiento en una computadora, más aún, ellas representan un modelo del actual comportamiento humano

### **Frames (marcos)**

Un marco es una estructura de datos que incluye todo el conocimiento acerca de un objeto en particular y es organizado en una estructura jerárquica especial. Los marcos son básicamente una aplicación de la **programación orientada a objetos** para Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. Cada marco describe a un **objeto**.

### **Contenido de un marco (frame)**

Un marco (frame) incluye dos elementos básicos: ranuras (slots) y facetas (facets). Una **ranura (slot)** es un conjunto de atributos que describen al objeto representado por el marco. Por ejemplo, en el marco de una computadora (Figura 1 4), existen las ranuras de peso y procesador, *entre otras*

<b>Marco para una computadora:</b>
Clase: Equipo de cómputo.
Origen : E.U.A
Modelo: PS/1
Peso : 10 Kg
Numero de puertos paralelos: 2
Numero de puertos seriales: 1
Procesador. Pentium.
Velocidad de reloj: 130 MHz.
Disco Duro: 1 GB.
Monitor : Super VGA 1024 x 768 .0.28 dot pitch.
Tarjeta de Vídeo: VRAM 1MB

**Figura 1.4.** Marco describiendo una computadora.

Cada ranura tiene una o más facetas (facets) Las **facetas** (algunas veces llamadas subranuras) describen algún conocimiento o procedimiento acerca del atributo en la ranura. Las facetas pueden tomar muchas formas:

- **Valores.** Estos describen atributos tales como un color azul, rojo etc.
- **Default.** Esta faceta es usada si la ranura esta vacía, esto es, sin ninguna descripción.
- **Rango.** El rango indica que tipo de información puede aparecer en la ranura, por ejemplo, sólo números enteros, números con dos decimales, números de 0 a 100, etc
- **If added (Si se agrega).** Esta faceta contiene información procedural o de enlaces. Especifica una acción a ser tomada cuando un valor en la ranura es agregado o modificado. Tales enlaces procedurales son llamados **demons**.
- **If needed:** Esta faceta es usada en el caso de que ningún valor en la ranura es proporcionado. Esta faceta intenta encontrar o calcular los valores necesarios
- **Otros.** Las ranuras pueden contener marcos, reglas, redes semánticas o cualquier otro tipo de información

---

---

### 1.3. DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

Al desarrollar Sistemas Expertos, se necesitan realizar varias tareas de desarrollo de software. La naturaleza de la aplicación determina que tareas se llevarán a cabo, en qué orden y a qué profundidad. Estas diferentes tareas a realizar se organizan en seis fases. Se sabe, sin embargo, que el proceso es no lineal, más bien, algunas tareas se ejecutan juntas, o incluso, se retorna a tareas previas. Las preguntas básicas que se deben plantear al inicio de desarrollo de un Sistema Experto son las siguientes:

1. ¿Cuál es la aplicación que se desarrollará? (selección del problema)
2. ¿Quiénes van a desarrollar la aplicación? (estrategia de desarrollo)
3. ¿Cómo es y será desarrollada la aplicación? (proceso de desarrollo)

Las respuestas a estas preguntas están mutuamente relacionadas. Además otras muchas otras preguntas deben plantearse, tales como cuándo y dónde desarrollar una aplicación. La Figura 1.7 muestra la interrelación de estos tres aspectos fundamentales.

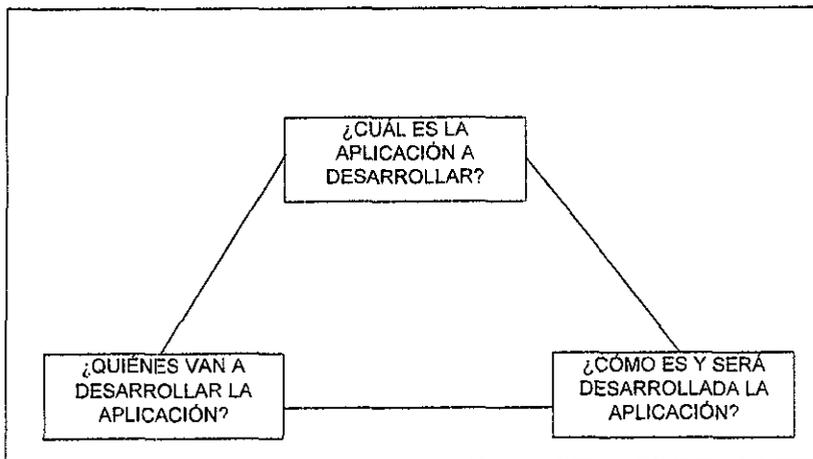


Figura 1.5. Preguntas básicas que se deben plantear al inicio del desarrollo de un Sistema Experto.

---

---

## PROCESO DE DESARROLLO DE UN SISTEMA EXPERTO

### ETAPA 1: ANALISIS DEL PROBLEMA

Definición del problema  
Evaluación de alternativas de solución  
Beneficios administrativos

### ETAPA 2: DISEÑO Y ANALISIS DEL SISTEMA

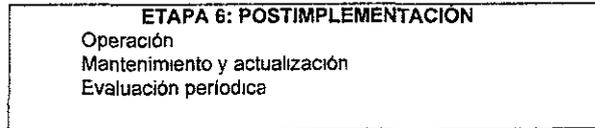
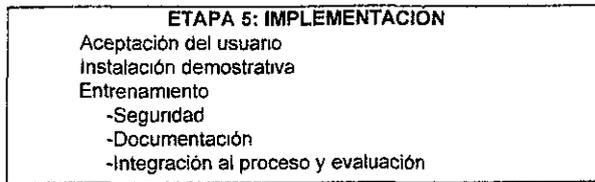
Diseño conceptual (diagrama de bloques)  
Desarrollo de estrategias  
Fuentes de conocimiento (públicas y privadas)  
Recursos de cómputo  
Situación de factibilidad (Análisis beneficio/costo)

### ETAPA 3: DESARROLLO DEL PROTOTIPO RÁPIDO

Construcción de un pequeño sistema  
-Problema  
-Conceptualización  
-Adquisición del conocimiento  
-Representación  
-Inferencia  
Evaluación de mejora y expansión  
Demostración y análisis de factibilidad

### ETAPA 4: DESARROLLO DEL SISTEMA

Construcción de la Base de Conocimientos  
-Adquisición del conocimiento  
-Representación  
    Soluciones  
    Entrada de datos  
    Mapa del conocimiento  
    Matriz  
    Codificación  
Evaluación de mejora de la Base de Conocimiento  
Planificación de la Integración



**Figura 1.6.** Proceso de desarrollo de un Sistema Experto

### 1.3.1. ETAPA 1: ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Encontrar un proyecto apropiado para desarrollar un Sistema Experto no es tarea fácil. Deben de tomarse en cuenta varios factores y muchos proyectos fracasan debido precisamente a un pobre análisis *front-end*

#### a) Definición del problema y análisis de necesidades

Una definición clara del problema simplifica la realización de tareas adicionales de manera significativa y ayuda a generar un programa productivo. Se puede definir el problema respondiendo algunas preguntas básicas:

¿Cuál es el problema específico?

¿Cuáles son las necesidades reales?

Problemas típicos de negocios pueden ser la baja productividad, falta de conocimiento experto, información excesiva, problema de tiempo o de personal. Para cualquier problema o necesidad, es conveniente escribir un informe claro y detallado y proporcionar apoyo con información adicional en lo posible, ya que éste informe debe servir como guía para establecer las especificaciones del sistema. El mejor camino para comprender el problema o necesidad es realizar un estudio formal del "Análisis de necesidades".

---

---

## **b) Evaluación de las alternativas de solución**

Antes de iniciar el desarrollo del Sistema Experto, se deben considerar alternativas de solución al problema. La falta de conocimiento es un problema que puede ser resuelto de diversas maneras, y no sólo con Sistemas Expertos. Es importante considerar que los Sistemas Expertos son una técnica más de un gran conjunto de posibilidades como programación lineal, optimización matemática, técnicas clásicas de ingeniería industrial, integración de sistemas, etc.

Es recomendable analizar los siguientes aspectos en esta fase:

- Disponibilidad de expertos
- Educación y entrenamiento
- Paquetes de conocimiento
- Software convencional

## **c) Verificación de la aplicación de un Sistema Experto**

El hecho de que otras alternativas no sean apropiadas para resolver un problema, no significa que el Sistema Experto es necesario. Para confirmar que un Sistema Experto es apropiado al problema se deben realizar tres estudios.

- Requerimientos para el desarrollo del Sistema Experto
- Justificación para desarrollar el Sistema Experto
- Características del problema

## **d) Aspectos administrativos**

Un proyecto de Sistema Experto no se inicia por sí mismo. Algunas veces se inicia debido a que existe una necesidad, pero en la mayoría de las veces, se inician debido a que alguien en la organización cree en las tecnologías de Inteligencia Artificial. Los aspectos administrativos que deben ser considerados cuando se lanza un proyecto de Sistema Experto son:

- Disponibilidad de financiamiento
- Disponibilidad de otros recursos
- Limitaciones legales y otras restricciones
- Venta del proyecto

- 
- Identificación del equipo y líder del proyecto

### **1.3.2. ETAPA 2: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA**

Una vez que el proyecto de Sistema Experto ha pasado la primera etapa, se deberá llevar a cabo un análisis detallado del sistema para obtener una idea de como se vera el sistema. Algunas de las tareas que pueden realizarse en esta fase y pueden ser hechas en un prototipo inicial se especifican a continuación.

#### **a) Diseño conceptual**

El diseño conceptual de un Sistema Experto es similar a realizar un croquis de la arquitectura de una casa. Este diseño nos da una idea de como será el Sistema Experto y que tareas realizará para resolver el problema. Generalmente es un diagrama de bloques modular, donde cada módulo o bloque representa una o un conjunto de funciones similares, acompañado de una descripción general y específica de las características del Sistema Experto a desarrollar. Por lo tanto, el diseño conceptual debe incluir:

- capacidades generales del Sistema Experto
- interfaces con otras aplicaciones
- áreas de riesgo
- recursos requeridos
- flujo de caja anticipado
- composición del equipo de trabajo, e
- información adicional

#### **b) Estrategia de desarrollo**

Existen diversas clases generales de estrategias de desarrollo de un Sistema Experto. Éstas son:

- Hágalo usted mismo
- Contratar un diseñador externo
- Entrar a un equipo de aventura
- Fusionarse, adquirir o ser accionista de una compañía de Inteligencia Artificial

---

Algunas organizaciones eligen una estrategia, mientras que otras emplean varias de ellas

### c) Fuentes de conocimiento

Las fuentes de conocimiento pueden jerarquizarse en dos grupos:

- Conocimiento documentado (conocimiento público): pueden ser libros, bases de datos, manuales, memos, reportes, films, pinturas, vídeos, audio, etc
- Conocimiento no documentado (conocimiento privado): Se encuentra en la mente de los expertos humanos, quienes poseen conocimiento que es mucho más complejo que el encontrado en fuentes documentadas. Este conocimiento se basa en la experiencia del experto y en muchos casos pueden ser expresados en términos de heurísticas

### d) Selección de los recursos de cómputo

Involucra decisiones acerca del hardware y software. Las alternativas son muchas y la selección del software depende del hardware, por lo cual deben considerarse tres aspectos:

- Shells versus lenguajes: Una de las decisiones más importantes es la elección de la herramienta a utilizar y depende de varios factores como las capacidades de programación disponibles (lenguajes, programadores), tipo de computadora (para desarrollo y a nivel usuario), tiempo y fondos disponibles, elegir entre usar un shell, un lenguaje de Inteligencia Artificial o un lenguaje convencional.
- Máquinas LISP versus computadoras estándares: Actualmente existe una tendencia a utilizar computadoras estándares en lugar de máquinas LISP
- Ambientes mainframe y no-mainframe. Un Sistema Experto puede proyectarse para una PC, estación de trabajo o un mainframe.

### Clasificación del software

Las muchas herramientas de software para Inteligencia Artificial pueden ser clasificadas de muchas formas (por ejemplo, por el tamaño o complejidad del sistema que se planea construir). Hemos encontrado útil clasificar el software en cinco niveles de tecnología: lenguajes, herramientas de soporte, shells, sistemas híbridos, y aplicaciones de Sistemas Expertos (Sistemas Expertos específicos)

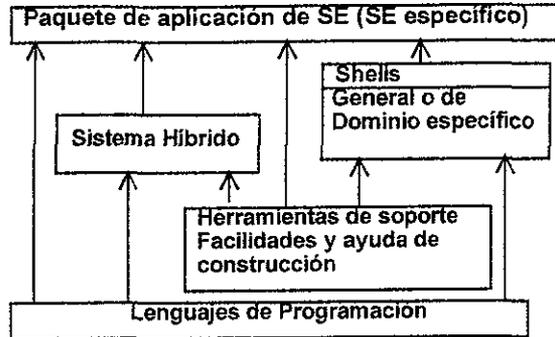


Figura 1.7. Niveles de Tecnología de Software para Sistemas Expertos

El nivel más alto de software en la Figura 1.7, es el que menos esfuerzo para programar requiere, así como también, entre más alto este el nivel, menos flexible es el software. Generalmente hablando, el uso de altos niveles de software permite programar más rápido. De otra forma, aplicaciones complejas y no estándares deben ser construidos con los niveles más bajos del software.

### Descripción de los niveles

**Sistemas Expertos Específicos.** Son productos de aplicación que aconsejan a un usuario específico sobre un tópico en particular. Muchos Sistemas Expertos específicos están hechos para personalizar su uso o algunos están ya hechos. Sistemas Expertos específicos pueden ser usados en una área de aplicación bien restringida en una compañía, o en un segmento de la misma.

**Shells (Skeletal Systems).** En lugar de construir un Sistema Experto desde el principio, es frecuentemente posible tomar prestado una gran parte de un Sistema Experto específico ya construido. Esta estrategia ha dado como resultado la creación de varias herramientas de software integradas denominadas como Shells. Los Sistema Experto son despojados de su base de conocimientos, lo cual deja al shell únicamente con sus mecanismos de explicación y de inferencia. Los shells son paquetes integrados cuyos componentes principales (a excepción de la base de conocimientos) son *preprogramados*. El programador necesita solamente insertar adecuadamente el conocimiento para construir el sistema.

**Herramientas de soporte.** Con los Shells, el constructor del sistema necesitaba crear únicamente la base de conocimientos. En contraste otros muchos tipos de herramientas ayudan a construir varias partes del sistema. Estas herramientas son ayudas para la adquisición del conocimiento,

---

validación y verificación del conocimiento, y construcción de interfaces con otros paquetes de software. Estas son llamadas herramientas de soporte.

**Sistemas híbridos. (Environments).** Los sistemas híbridos son sistemas compuestos de muchas herramientas de soporte y lenguajes de programación. Esto permite al sistema construirse mucho más rápido que en lo que podría ser construido si solamente se usara un lenguaje de programación. Los sistemas híbridos proporcionan a los programadores una forma rápida de hacer un prototipo para construir un shell o un Sistema Experto específico.

Los shells y las herramientas (o Environments) difieren en el grado de enfoque. Las herramientas (Environments) son más flexibles pero menos enfocadas. Ello pone más responsabilidad sobre el ingeniero de conocimiento. Los shells están dirigidos a una área de aplicación restringida y proporciona un acceso más enfocado. Los shells y las herramientas pueden ser generales o ellos pueden apuntar hacia industrias específicas, dominios o aún aplicaciones.

**Lenguajes de programación.** Los Sistemas Expertos pueden ser construidos con uno o muchos lenguajes de programación. Estos pueden variar desde lenguajes de Inteligencia Artificial hasta lenguajes procedurales (COBOL, PASCAL, C, etc.). Los Sistemas Expertos pueden inclusive ser construidos a partir de lenguajes de cuarta generación tal como Lotus 1-2-3.

## **Lenguajes de programación**

Numerosos lenguajes de programación están orientados hacia la Inteligencia Artificial. Versiones comerciales de estos lenguajes y sus variantes están disponibles para un amplio margen de computadoras, desde micros hasta computadoras grandes. Los lenguajes de programación pueden ser clasificados dentro de cinco categorías: Lenguajes ajenos a la Inteligencia Artificial, lenguajes orientados a objetos, Lenguajes de alto nivel para Inteligencia Artificial y Lenguajes de ingeniería del conocimiento de propósito general.

### **Lenguajes de programación ajenos a la Inteligencia Artificial**

Algunos desarrollos de herramientas para Sistemas Expertos son escritos en lenguajes ajenos a la Inteligencia Artificial, por ejemplo INSIGHT2 (Ahora Level 5) en Turbo Pascal y EXSYS en C. Algunos Sistemas Expertos específicos han sido también completamente programados en tales lenguajes. ¿Por qué? Una razón es que los lenguajes para Inteligencia Artificial requieren más memoria y son demasiado restrictivos. Otra razón importante es el hecho de que los lenguajes ajenos a la Inteligencia Artificial corren mucho más rápido en microcomputadoras. Finalmente, una ventaja más es que la interface de un Sistema Experto con una base de datos puede ser mucho más fácil si el Sistema Experto es escrito en un lenguaje convencional.

---

Existen maneras de evitar los problemas mencionados arriba, muchos programadores diseñan primero su Sistema Experto con lenguajes para Inteligencia Artificial tales como PROLOG o LISP y una vez que ellos están satisfechos de como su sistema trabaja los programadores traslaman el código a PASCAL, FORTRAN o C. (Traducciones automáticas están disponibles para muchos códigos)

### **Lenguajes para Inteligencia Artificial (Lenguajes Simbólicos)**

Los lenguajes de manipulación simbólica o para Inteligencia Artificial proporcionan una manera efectiva para representar objetos tipo para Inteligencia Artificial. Los dos lenguajes principales son LISP y PROLOG. Con estos lenguajes, los procedimientos de programación y depuración pueden ser frecuentemente hechos mucho más rápido.

- **LISP (for List Processor)**. Las aplicaciones de LISP incluyen Sistemas Expertos, procesamiento de lenguaje natural, robótica, y programaciones educacionales y psicológicas. Sus características únicas dan al programador el poder desarrollar software que va más allá de las limitaciones de otros lenguajes de propósito general, tal como COBOL y PASCAL.

Específicamente, LISP esta orientado hacia el cálculo simbólico. Aunque los valores no tienen significado directo en LISP, el programa en LISP puede manipular convenientemente tales símbolos y sus relaciones. Los programas en LISP tienen también la capacidad de modificarse a si mismo. En un sentido limitado, esto significa que una computadora puede ser programada para *aprender* de sus propias experiencias.

LISP permite a los programadores representar objetos tales como reglas o redes como *listas*, Secuencias de números, cadenas de caracteres u otras listas

- **PROLOG. (For programming in logic)**. Su idea básica es expresar sentencias lógicas en sentencias de lenguaje de programación. PROLOG tiene la ventaja adicional de tener un poderoso motor de inferencia. Por lo tanto, el algoritmo usado en PROLOG es una serie de sentencias lógicas que pueden ser entendidas declarativamente, Esto es, puede ser entendido casi separadamente de las consideraciones de como será ejecutado. Lenguajes tradicionales pueden ser entendidos únicamente proceduralmente, es decir, considerando que pasa cuando el programa es ejecutado por la computadora

---

---

## Lenguajes orientados a objetos

Lenguajes orientados a objetos tal como C++ y Smalltalk-80 están popularizándose en Inteligencia Artificial. Usualmente son empleados con otros lenguajes de programación.

## Lenguajes de Ingeniería del Conocimiento de propósito general

Muchos lenguajes de propósito general han sido desarrollados específicamente para la Ingeniería de Conocimiento. Generalmente, son más flexibles y menos restringidos que los shells. Por el contrario, carecen de facilidades sofisticadas para los procesos de entrada-salida para la construcción de la base de conocimientos y para la explicación. Por lo tanto, su ambiente de programación no es tan comprensible como aquéllos usados en los shells. A diferencia de los shells que están restringidos a aplicaciones genéricas (ej. Diagnosis) estos programas son **irrestringidos**

### e) Análisis de factibilidad

Para realizar un análisis de factibilidad, se pueden considerar los siguientes elementos:

- Factibilidad económica (financiera):
  - Costos de desarrollo del Sistema Experto
  - Costos de mantenimiento.
  - Pagos anticipados
  - Análisis de flujo de caja.
  - Análisis beneficio/costo.
  - Análisis de riesgo.
  
- Factibilidad técnica
  - Requerimientos de interfaces
  - Conectividad en redes.
  - Disponibilidad de conocimientos y datos
  - Seguridad de conocimiento confidencial.
  - Esquema de representación del conocimiento.
  - Disponibilidad y compatibilidad de software y hardware
  
- Factibilidad operativa e impactos

- 
- Disponibilidad de recursos humanos y otros.
  - Prioridad en comparación con otros proyectos
  - Evaluación de necesidades.
  - Resultados organizacionales y de implementación
  - *Administración y apoyo al usuario.*
  - Disponibilidad de expertos e ingenieros del conocimiento
  - Limitaciones legales y otras restricciones
  - Cultura corporativa.
  - Ambiente del usuario.

#### f) Análisis beneficio/costo

El desarrollo de un Sistema Experto puede ser visto como una alternativa de inversión, por lo cual se deben mostrar las ventajas sobre otras inversiones, incluyendo la alternativa de "no hacerlo" La implementación efectiva puede depender de la capacidad de demostrar tales ventajas Este análisis es una comparación entre los costos con los beneficios anticipados. Pueden emplearse otros criterios para demostrar la factibilidad financiera, como periodo de recuperación, VPN y el criterio de la TIR.

- Evaluación de costos: En esta evaluación se incluye el tiempo de los ingenieros del conocimiento, tiempo de los expertos, tiempo de los programadores, consultorias externas al proyecto o equipo de desarrollo, licencias de las herramientas para desarrollo y *runtimes*, equipo de cómputo para desarrollo y utilización, costos indirectos, costos estimados de mantenimiento, etc
- Evaluación de beneficios: Esta evaluación es complicada debido a que (1) algunos beneficios son intangibles, (2) un beneficio frecuentemente no puede ser relacionado a una causa simple o única, (3) los resultados de una acción pueden ocurrir después de un largo periodo de tiempo, (4) una valoración de los beneficios incluye la evaluación de *la calidad y cantidad*, (5) *la multiplicidad de consecuencias plantean mayores problemas para la cuantificación.*

### 1.3.3. ETAPA 3: DESARROLLO DEL PROTOTIPO RÁPIDO

Un prototipo es un pequeño Sistema Experto, el cual incluye la representación del conocimiento capturado de una manera tal que permita dar inferencias rápidas y la creación de los

componentes principales del Sistema Experto. Un prototipo con un número pequeño de reglas puede ser suficiente para realizar las consultas de manera limitada.

El prototipo ayuda al desarrollador a decidir sobre la estructura de la base de conocimiento, antes de consumir una gran cantidad de tiempo en la construcción de más reglas. La Figura 1.10 muestra el proceso para desarrollar el prototipo rápido.

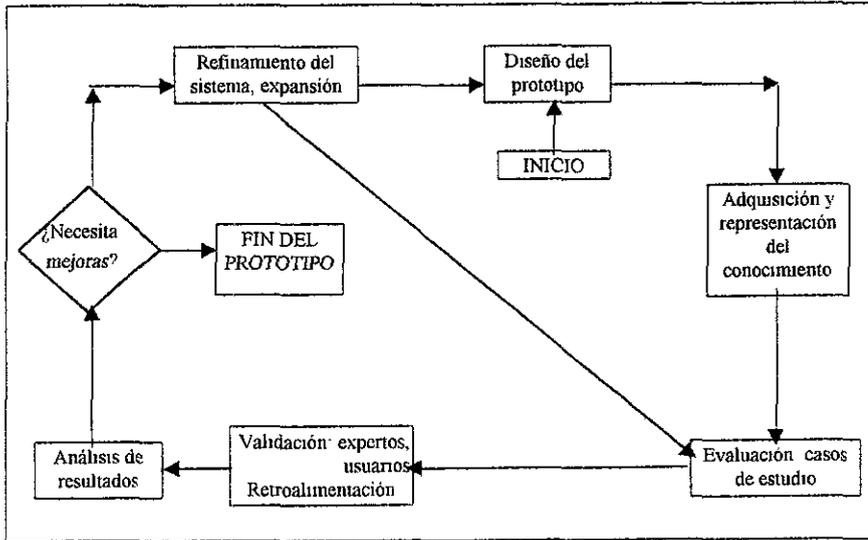


Figura 1.8. Desarrollo del prototipo rápido del Sistema Experto.

#### 1.3.4. ETAPA 4: DESARROLLO DEL SISTEMA

Cuando el prototipo ha sido terminado y su manejo es satisfactorio, se inicia el desarrollo del Sistema Experto completo. Obviamente el plan debe ser hecho acerca de como continuar y completar el prototipo, por ello en esta etapa la estrategia de desarrollo puede cambiar, así como el diseño detallado.

Para inicial el desarrollo del Sistema Experto se deben tener claramente definido y evaluados los siguientes aspectos (los cuales dependen de la naturaleza del sistema)

- tamaño del sistema (número de módulos y reglas)

- 
- cantidad de interfaces con otros sistemas o aplicaciones
  - dinámicas del conocimiento (conocimiento estático y dinámico)
  - y la estrategia de desarrollo

#### **a) Construcción de la base de conocimientos**

La parte fundamental de esta etapa es la construcción de la base de conocimientos, lo cual significa adquirir el conocimiento de los expertos y/o otras fuentes documentadas y representarlo de una forma apropiada en la computadora. De todo lo discutido anteriormente, en esta ocasión se incluyen varios aspectos adicionales:

- definir la solución potencial
- definir los hechos de entrada
- *desarrollar un diagrama de bloques* del sistema (conceptualización)
- dibujar el mapa de conocimiento (árbol de decisión y matriz o tabla de decisión)
- desarrollar el Sistema Experto (programar en un lenguaje o shell)

#### **b) Evaluación, validación, verificación y mejoramiento**

El prototipo y las versiones más completas o finales del Sistema Experto son evaluadas y validadas tanto en el laboratorio como en casos reales. La validación se refiere a determinar si el Sistema Experto *brinda resultados con un nivel de exactitud aceptable* y reconocida por los usuarios y expertos, mientras que la verificación confirma que el Sistema Experto ha sido construido correctamente, de acuerdo a las especificaciones del diseño.

### **1.3.5. ETAPA 5: IMPLEMENTACIÓN**

Esta etapa puede ser larga y compleja, similar a la implementación de cualquier software. Los siguientes aspectos son los que más se refieren a la implementación del Sistema Experto, y son los que deben tomarse en cuenta:

- lograr la aceptación del usuario final
- alcanzar una buena instalación realizar demostraciones
- integración y despliegue
- orientación y entrenamiento

- 
- seguridad del Sistema Experto
  - documentación del Sistema Experto
  - integración y evaluación en el campo hardware, personal, redes, evaluación de casos y tiempo de respuesta.

### **1.3.6. ETAPA 6: POST-IMPLEMENTACIÓN**

Varias actividades se llevan a cabo después de que el Sistema Experto ha sido distribuido a los usuarios. Las más importantes son

- operación del Sistema Experto,
- mantenimiento del Sistema Experto,
- actualización o expansión del mismo, y
- evaluación

En el caso de la evaluación se pueden contemplar las siguientes interrogantes

- ¿Cuál es el costo actual de mantenimiento del sistema comparado con los beneficios actuales?
- ¿El mantenimiento proporcionado es suficiente para mantener el conocimiento actualizado a fin de que el sistema proporcione resultados con alta exactitud?
- ¿Es el Sistema Experto accesible a todos los usuarios?
- ¿El Sistema Experto es aceptado por los nuevos usuarios?

**PLANEACIÓN DE LA PERFORACIÓN  
DE POZOS**

---

## 2.1 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS

El planear la perforación de un pozo es un aspecto muy importante dentro de la Ingeniería Petrolera, ya que requiere de la integración de muchos principios de ingeniería, así como de la experiencia en campo del ingeniero petrolero. Y es de una buena planeación que dependerá el que la perforación que se efectúe esté bien controlada o si se realizó una mala planeación se tendrán que resolver muchos problemas y por consiguiente que realizar gastos mayores y en el peor de los casos pérdidas lamentables.

### 2.1.1. FACTORES BÁSICOS DE DISEÑO

Aún cuando los métodos para la planeación de un pozo pueden variar, los resultados deben siempre verse reflejados sobre los siguientes aspectos.

- Seguridad.
- Bajo costo económico.
- Utilidad.

#### SEGURIDAD

La seguridad en la perforación de un pozo es un factor prioritario, ya que el no tomarla en cuenta puede traer como consecuencia accidentes que ocasionen la pérdida de vidas humanas, o lesiones de por vida.

El planear la perforación de un pozo teniendo en mente la seguridad se reflejará en la integridad física del personal y en un considerable ahorro de dinero, ya que es menor el gasto que se requiere para obtener la información adecuada para tener seguridad en la perforación de un pozo, que el gasto realizado por no haber tomado en cuenta ciertos factores críticos.

#### COSTO

Otro objetivo en la planeación de la perforación es el minimizar los costos del pozo, esto claro sin escatimar en los aspectos relacionados con la seguridad.

---

En la mayoría de los casos el costo de la planeación es de aproximadamente un 0.001 % del costo del pozo, por lo que el ahorro en la misma no sólo no es significativo sino hasta puede resultar costoso al tiempo de perforar.

Una buena planeación permite, hasta cierto nivel, abatir los costos durante la perforación del pozo y una mala planeación puede dar como resultado el gasto excesivo de recursos económicos y en casos extremos el abandono del pozo.

#### UTILIDAD

La perforación de un pozo puede resultar inútil si la configuración del pozo no es la adecuada y esto implica

- El diámetro del agujero debe ser lo suficientemente grande para permitir la terminación del pozo.
- Que el agujero o la formación productora no queden dañados irremediablemente

### 2.1.2. CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE POZOS

El ingeniero de diseño debe tomar en cuenta el tipo de pozo que deberá planear, teniendo en cuenta a los siguientes:

- Pozo exploratorio.
- Pozo de desarrollo
- Pozo delimitador.
- Pozo de profundización.

---

## POZO EXPLORATORIO

La localización de este tipo de pozo se determina por información sobre geología y geofísica. Este tipo de pozo será el primero que se perfora en cierta área.

## POZO DE DESARROLLO

La localización es determinada por datos de pozos ya perforados en el área. Como su nombre lo indica se perfora para desarrollar (explotar) algún yacimiento.

## POZO DELIMITADOR

Su localización se basa en datos de sismología y debe perforarse después del pozo exploratorio.

El objetivo de perforar estos pozos es el de determinar los límites de algún yacimiento.

## POZO DE PROFUNDIZACIÓN

Son pozos ya perforados que se profundizan aún más, de acuerdo a ciertas expectativas que se tienen sobre posibles yacimientos más profundos.

### 2.1.3. PROCESO DE PLANEACIÓN

Debido a que la planeación de la perforación es un aspecto de vital importancia, esta debe hacerse de forma ordenada, con esto se quiere decir que algunos aspectos deberán ser programados antes que otros. Por ejemplo los asentamientos de las tuberías no podrán establecerse antes de contar con los gradientes de fractura, ya que los asentamientos dependen directamente de estos gradientes y los gradientes no dependen en absoluto de los asentamientos de las tuberías.

En la Figura 2.1 se muestra un diagrama de flujo general, que es utilizado frecuentemente para la planeación de un pozo.

---

---

## FACTORES QUE DETERMINAN EL DISEÑO DE UN POZO

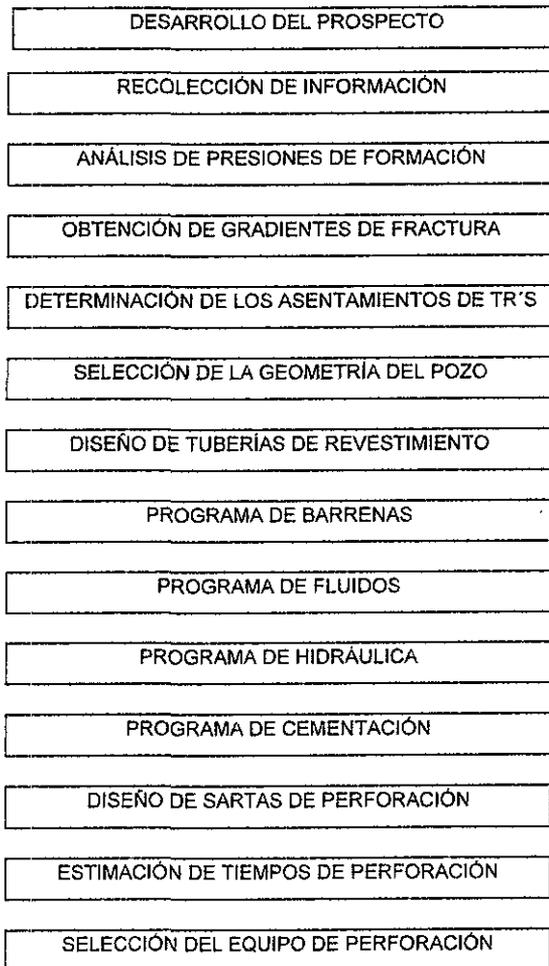


Figura 2.1. Diagrama de Flujo de la planeación de un pozo.

---

## 2.2 DISEÑO DEL ESTADO MECÁNICO DE UN POZO

### 2.2.1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Lo primero que sucede cuando se planea la perforación de un pozo es que la Gerencia de Exploración - Perforación entrega al ingeniero de diseño la información general del pozo, misma que contiene lo siguiente:

- Nombre, número y tipo del pozo.
- Coordenadas del Conductor y del Objetivo (generalmente UTM).
- Objetivo del pozo y formación productora esperada
- Columna Geológica Probable del pozo.
- Terminación deseada

Una vez que el ingeniero de diseño tiene la información anterior el primer paso que debe realizar es la recopilación de información de pozos vecinos, a esto se conoce como información de correlación.

#### **Tipo de información de correlación**

La información requerida por el ingeniero de diseño es, generalmente, la siguiente:

- Mapas Geológicos
- Registros Continuos de Parámetros de Perforación
- Estudios Sísmicos
- Diarios de Lodos
- Registros de Barrenas
- Reporte Diario de Operación

---

---

## Mapas geológicos

Los pozos de correlación deberán determinarse de acuerdo a su cercanía con el pozo a desarrollar, para ello debe contarse con un mapa geológico actualizado, en el cual se muestran los pozos perforados en ese campo, así como las fallas geológicas que se han encontrado. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de este tipo de mapas geológicos. En este mapa el pozo a perforar está marcado con una X

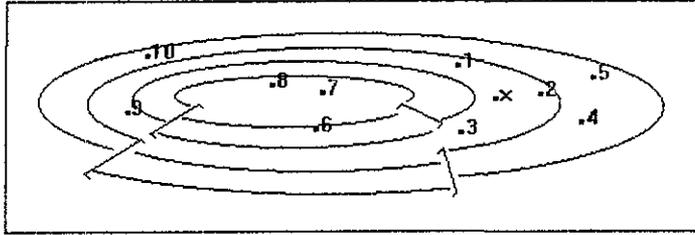


Figura 2.2. Ejemplo de un mapa geológico.

## Registros continuos de parámetros de perforación

Este tipo de registros son un monitoreo discreto que se toma durante la perforación de algún pozo. Generalmente son tomados en pozos exploratorios, pozos problemáticos o pozos con muy altas presiones

## Estudios sísmicos

Los estudios sísmicos son muy útiles ya que se ha demostrado que de un buen análisis de las velocidades sísmicas se puede predecir la presión de poro que se encontrará al perforar el pozo.

## Diarios de lodos

En estos diarios se tiene además de las condiciones del lodo con que se perfora, información sobre diferentes variables, tales como tipos y diámetros de barrenas, de TR's, etc.

---

De un cuidadoso análisis de estos diarios se puede obtener información que pueda indicar la posible presencia de problemas o contaminantes, así como la forma en que se solucionaron.

También de estos diarios puede obtenerse información para generar las gráficas de Profundidad vs. Días de Operación. Muy importante para la localización de zonas problemáticas, tiempos esperados de perforación y para identificar las mejores condiciones de operación para el pozo en diseño.

### **Registros de barrenas**

Al igual que en los reportes de lodos, en los registros de barrenas se encuentra información relativa a la operación de la perforación

Datos como dientes rotos, fallas imprevistas o desgaste en el diámetro de las barrenas son útiles para tomar medidas preventivas en el nuevo diseño. Y debido a que el costo de un pozo está estrechamente relacionado a su tiempo de perforación, un buen análisis de estos registros debe ayudar a determinar las características óptimas de las barrenas para lograr los tiempos mínimos de perforación.

### **Reporte diario de operación**

Son tal vez, los reportes que brindan mayor información importante para el diseño de un nuevo pozo. Entre la información con que cuentan se tiene a las características de:

- Lodo
- El aparejo de fondo
- La barrena
- La TR
- Marca y modelo de bombas y equipo de perforación
- Presión y gasto de bombeo
- Formación perforada
- Profundidad del pozo
- Etc.

---

---

## 2.2.2. OBTENCIÓN DE PRESIONES DE FORMACIÓN Y DE FRACTURA

El número y diseño de las tuberías de revestimiento y de producción, las profundidades de asentamiento de las mismas, el tipo y densidad del lodo y la planeación de las cementaciones están restringidas o controladas por la relación que existe entre las presiones a las que se expondrán durante la perforación del pozo, por lo que la determinación de estas presiones es una parte muy importante en la planeación de un pozo.

Cierto es que las condiciones que se plantearon en la planeación nunca o casi nunca serán exactas durante la perforación, pero una mala determinación de estas presiones puede reflejarse en grandes cambios sobre el programa de perforación o aún algo tan drástico como el abandono del pozo, es por ello que debe ponerse especial atención a esta etapa del diseño.

De las técnicas que se utilizan para la predicción y cuantificación de las presiones pueden mencionarse las siguientes:

◊ Antes de la Perforación.

- Correlaciones geológicas.
- Interpretaciones sísmicas

◊ Durante la Perforación

- Ecuaciones de velocidad de perforación
- Densidad de rocas perforadas
- Comportamiento del pozo (torsión, tensión, forma de los cortes, etc.)
- Registros durante la perforación
- Pruebas de formación

◊ Después de la Perforación.

- Análisis de registros geofísicos
- Registros de presión y datos de producción.

---

### **2.2.3. DETERMINACIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS DE TR'S**

La primer tarea en el diseño de un pozo es el seleccionar las profundidades de asentamiento de las tuberías. Para esto deben considerarse condiciones geológicas tales como las presiones de formación y gradientes de fractura, problemas del agujero, políticas internas de la compañía y en algunos casos regulaciones gubernamentales. El resultado de este trabajo permitirá que el pozo sea perforado con seguridad y sin necesidad de tener un número excesivo de tuberías que lo protejan.

La importancia de una buena selección de las profundidades de asentamiento no debe ser minimizada, ya que en algunos casos se han tenido problemas de ingeniería o costos excesivos por no haber realizado este análisis con atención y haber establecido asentamientos muy profundos o viceversa.

Aplicando unos cuantos principios básicos de perforación, combinados con una base de conocimientos se podrán determinar apropiadamente los asentamientos a los cuales las tuberías irán con el mínimo de dificultades.

### **TIPOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO**

El campo de la perforación a menudo requiere de diferentes tipos de tuberías con el objetivo de alcanzar la profundidad deseada. Las principales se mencionan a continuación.

- Conductora.
- Estructural.
- Superficial
- Intermedia
- Liner
- Productora.

---

## Conductora

Usualmente esta es la primera tubería del pozo, inicia en la superficie y termina, comúnmente a una profundidad de entre 30 m a 100 m. El principal propósito de esta tubería es aislar acuíferos y tener un medio de circulación del fluido de perforación, además de que muchas de las formaciones superficiales tienden a sufrir deslaves y con esta tubería se controla cierto tipo de pérdida de circulación.

## Estructural

Ocasionalmente, debido a las condiciones de perforación es necesaria la presencia de una tubería adicional entre la conductora y la superficial. Su rango de profundidad es de entre 200 m a 340 m. El propósito de esta tubería es resolver problemas adicionales de pérdida de circulación y minimizar los problemas por zonas gasificadas.

## Superficial

Esta etapa inicia generalmente a una profundidad de entre 50 m a 100 m y su profundidad final varía dependiendo de las condiciones específicas del pozo, como la longitud máxima de agujero descubierto (cuando se han establecido las profundidades de asentamiento para las tuberías conductora y superficial y no hay problemas graves en la formación, la longitud máxima de agujero descubierto en las secciones debe limitarse entre 3000 m y 4300 m para agujeros de 7 7/8 pl y mayores, entre 1600 m y 2600 para agujeros de 6 1/2 a 7 7/8 pl, entre 660 m y 1300 m para agujeros de 4 1/2 a 6 1/2 pl y menos de 660 m para agujeros menores, teniendo que revisar estas profundidades de acuerdo a las características de la formación como su dureza y otras condiciones locales). Los propósitos de la tubería superficial son varios y de ellos los más importantes son.

- Proteger las arenas suaves.
- Mantener la integridad del pozo previniendo derrumbes.
- Minimizar la pérdida de circulación en intervalos poco profundos en zonas permeables.
- Cubrir las zonas débiles que no pueden controlar las presiones
- Dar protección para posibles reventones.
- Soportar el peso de todas las tuberías que se correrán dentro del pozo por debajo de la superficial

---

## **Intermedia**

La razón principal de esta tubería es la presencia de presiones anormales. Ya que las densidades de los fluidos de perforación deben ser mayores para controlar esas altas presiones se hace necesaria la presencia de una tubería que proteja a las formaciones para prevenir una pérdida de circulación. Ocasionalmente esta tubería es usada para cubrir zonas con presencia de sal que pueda causar problemas.

## **Liner**

Esta tubería es usada con el mismo propósito de una intermedia, pero en lugar de correr una tubería hasta la superficie, se utiliza una que llega hasta una profundidad no muy grande. Los liner son frecuentemente utilizados como un método económicamente efectivo para lograr control sobre gradientes o presiones de fractura sin tener que realizar un gasto excesivo por tener que correr una tubería hasta la superficie. Cuando se utiliza un liner, la tubería superior (usualmente una intermedia) debe ser evaluada con respecto a los esfuerzos de colapso y presión para perforar en agujero descubierto abajo del liner.

## **Productora**

Esta última etapa es la que permite llegar al yacimiento y explotar selectivamente los intervalos de hidrocarburos. La finalidad de esta etapa es aislar la zona productora de otras formaciones, proporcionar un agujero de trabajo de diámetro conocido hacia la zona productora y *proteger la tubería y el equipo de producción.*

## **DETERMINACIÓN DE LAS PROFUNDIDADES DE ASENTAMIENTO DE LAS TR'S SEGÚN EL TIPO DE TUBERÍA**

Las profundidades de los asentamientos son afectadas directamente por las condiciones geológicas. En algunos casos influye el que se espere que haya zonas con pérdida de circulación, problemas de pegaduras o tal vez el decremento de presión en el yacimiento. En pozos profundos la consideración primordial es el control en zonas de presión anormal. El proceso de la selección de las profundidades de los asentamientos empieza por el conocimiento de las condiciones geológicas, tales como presiones y gradientes de formación.

---

### **a) Profundidades de asentamiento de tuberías profundas e intermedias**

La selección de los asentamientos debe hacerse empezando por la tubería más profunda hasta llegar a la conductora.

El primer criterio para la selección de las profundidades es el de permitir el control de las densidades de los fluidos, para que estas no dañen la formación que esta siendo perforada. Este procedimiento es realizado de abajo hacia arriba. Después de haber establecido estas profundidades, se consideran aspectos como diferencias de presiones para determinar si la tubería de revestimiento podrá soportar mientras se esté corriendo en el pozo. Esta consideración se realiza de forma inversa a la anterior, es decir, de arriba hacia abajo.

Las presiones que deben considerarse incluyen un equivalente a la densidad del lodo, el margen de viaje y un factor de seguridad. De abajo hacia arriba, cuando se encuentra que el gradiente de fractura es igual al valor de presión calculado es entonces cuando se ha llegado a la profundidad inicial (tentativa) para esa tubería.

### **b) Profundidades de asentamiento de tubería superficial**

Los asentamientos para estas tuberías son impuestos para presiones que son más críticas que las consideradas para los asentamientos más profundos. Estas presiones generalmente son el resultado de retrocesos inadvertidos que suceden mientras se perforan secciones más profundas. Como resultado, el asentamiento para la tubería superficial es seleccionado para contener presiones mayores que las que se encontrarán en las siguientes secciones.

## **2.2.4. SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL POZO**

El hacer una buena elección en los diámetros de las barrenas y las tuberías es una parte muy importante en el diseño de un pozo.

Una mala elección en estos diámetros puede verse reflejada en la construcción de un agujero tan pequeño que haga difícil y tal vez excesivamente costosa la continuación / terminación del pozo.

Actualmente y gracias a años de experiencia se han establecido algunos programas de geometría de los pozos, que pueden resumirse en el árbol de la Figura 2.3.

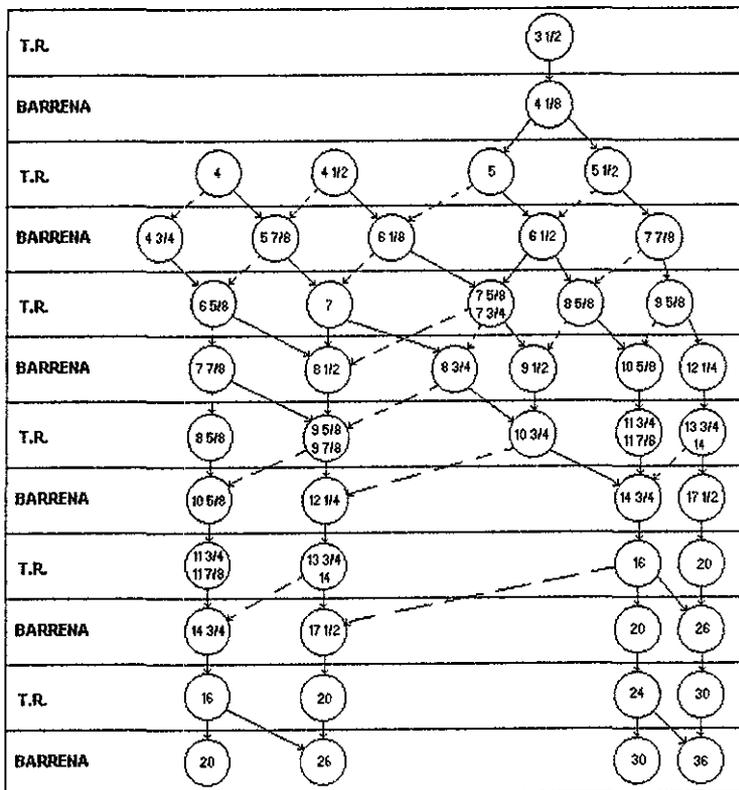


Figura 2.3. Árbol de barrenas y TR's.

---

Tanto el diámetro de las barrenas como el de las tuberías, están en función del diámetro de la Tubería de Producción, que es solicitada por la Gerencia de Exploración - Producción. Es por esta razón que el diseño de los diámetros se planea desde el fondo hacia la superficie. Y también por esto el árbol anterior tiene como iniciales a los diámetros más pequeños

El diámetro de la Tubería de Producción debe ser tal, que permita el transporte del gas y/o aceite a la superficie de la forma más económica que se pueda

### **Elección de diámetros de barrenas y tuberías de revestimiento**

Para conseguir un buen programa de barrenas y TR's debe tomarse en cuenta:

- Diámetros interno y Externo de las TR's.
- Diámetros de las Barrenas

### **Diámetros interno y externo de las TR's**

En realidad son las TR's las que tienen mayor importancia en la selección de la geometría del pozo. Por ejemplo, en un pozo muy profundo se necesitarán tuberías de alta resistencia (a la tensión y presión principalmente) Estas tuberías tienen diámetros internos pequeños y estos influirán directamente en el diámetro de la barrena que se utilizará para continuar con la perforación y por consiguiente con la siguiente TR que se meterá.

De entre el diámetro exterior y el interior, es este último el que tiene mayor influencia para el diseño, y del diámetro interno es el Diámetro Interno Máximo Permisible (DRIFT) el que controla el diámetro máximo que podrá tener la siguiente barrena a usarse.

De igual forma que las tuberías, los coples de estas se han diseñado para que cumplan los requerimientos de presión interna, colapso, tensión y de sello. Los coples API son por lo general 1 pulgada mayores que el diámetro del tubo. Los coples Premium (no API) tienen un diámetro menor que los API y por ello permiten el uso de tuberías de mayor diámetro en un pozo

---

---

## **Diámetros de las barrenas**

La elección en el diámetro de las barrenas es más sencilla, ya que estos dependen de los diámetros de las tuberías (de la tubería por la que tendrá que pasar y de la próxima tubería que se meterá en el pozo)

## **2.3. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DETALLADOS**

### **2.3.1. DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO**

Las tuberías de revestimiento se utilizan para proteger al pozo en las diferentes etapas de la perforación, por esto su planeación debe ser realizada con extremo cuidado.

El diseño de las tuberías se realiza, por lo general, para que soporte las condiciones de operación extremas. estas condiciones se refieren a:

Tensión

Colapso

Presión Interna.

Efectos Biaxiales.

Otros factores, también muy importantes son.

Costo.

Disponibilidad.

#### **Tensión**

La tensión o la compresión (según sea el caso) afecta tanto a la resistencia al colapso como a la presión interna.

El esfuerzo por tensión se evalúa en función del propio peso de la tubería en análisis, así como de las fuerzas de flotación. Esto quiere decir que el peso de la tubería la mantiene a cierta tensión, pero esta disminuye debido a la fuerza de flotación

---

## Colapso

La presión al colapso se genera por la columna hidrostática de los fluidos que rodean a la tubería (lodo o cemento, cuando se esta cementando esa TR)

Para la planeación con respecto a los fluidos se considera

- Que la TR está vacía
- La existencia de cierto nivel del fluido, resultado de la pérdida de circulación.

En la Figura 2.4 se ejemplifican estas consideraciones.

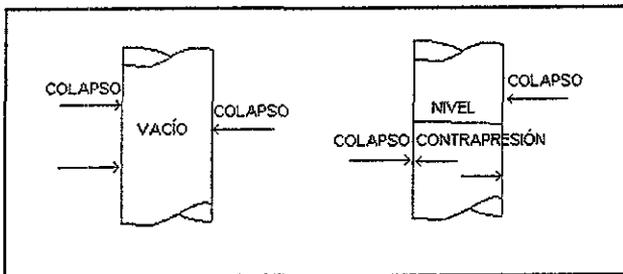


Figura 2.4. Presión al colapso.

## Presión interna

En la elección de la tubería debe asegurarse que la resistencia de la tubería a la presión interna, soportará los esfuerzos generados por la presión en el interior de la misma

Estos esfuerzos son generados por el lodo utilizado y en algunas ocasiones por alguna presión superficial, como cuando se presenta un brote

A los fluidos que se encuentran fuera de la TR se les conoce como fluidos de contrapresión y son los encargados de generar cierta presión hidrostática que ayuda a que la presión interna disminuya. De aquí que la presión interna efectiva sea igual a la presión interna menos la contrapresión.

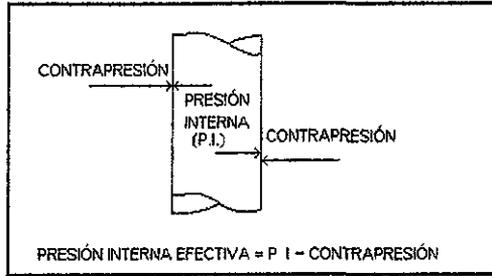


Figura 2.5. Presión interna.

Lo primero que debe cumplir la tubería seleccionada, no importando su tipo, es que su drift permita el paso de la barrena que se utilizará para la perforación de la siguiente etapa. También deberá verificarse que soporte la presión interna y la presión al colapso a las que estará expuesta

De existir más de una tubería que cumpla con las condiciones, se elige a la mas barata.

A continuación deben evaluarse las cargas por tensión. Para esto se revisa la resistencia a la tensión en el cuerpo de la tubería.

De cumplir satisfactoriamente la carga de tensión, se pasa a la elección del tipo de junta, la cual está en función no sólo de la tensión sino también de factores tales como el tipo de sello que tiene la junta

---

---

### 2.3.2. PROGRAMA DE BARRENAS

En la planeación de un pozo debe tomarse en cuenta que un factor muy importante es el costo durante la perforación. Un pozo que tenga un costo muy elevado no es, de ninguna forma un proyecto atractivo para ninguna compañía.

Ya que el costo de un pozo está directamente relacionado con los días que se requieran para su perforación, también está relacionado con las barrenas que se utilizarán y por lo tanto, es necesario que estas sean las mejores para que el tiempo de perforación sea lo más breve posible.

Es aquí donde surge la necesidad de un buen programa de barrenas. Un programa que ofrezca, de acuerdo a las posibilidades, los mejores tiempos de perforación, a un costo aceptable.

Para la selección de las barrenas debe tomarse en cuenta, además del costo.

Características de la formación que será perforada.

Sistema de lodos utilizados.

Realizar un programa de peso sobre barrena - velocidad de rotación que ofrezca buenas expectativas.

Una forma para la elección de las barrenas es mediante la ayuda de la clasificación IADC (International Association of Drilling Contractors ). Esta es una tabla en donde las barrenas se encuentran agrupadas por el tipo de suelo a perforar para el que han sido diseñadas.

Compresión Axial	Descripción de suelo	Clasificación IADC
<1500	Formaciones muy suaves / plásticas - alta densidad con baja resistencia (margas, arcillas calizas y lutitas suaves, formaciones no consolidadas)	1 - 1
		1 - 2
		5 - 1
		6 - 2
4500 -1500	Formaciones suaves - baja resistencia (margas, evaporitas, lutitas anhidritas )	1 - 3
		6 -1

Tabla 2.1. Clasificación IADC para barrenas.

7500 - 4500	Formaciones suaves a medianamente suaves - baja resistencia, interlaminadas con secuencias de alta resistencia (lutitas, pizarra, lignitos)	2 - 1 6 - 2
12000 - 7500	Formaciones medianamente duras - alta densidad, alta resistencia, pero sin lentes abrasivos (dolomitas, lutitas, areniscas y calizas duras)	2 - 3 6 - 2
20000 - 12000	Formaciones duras - alta resistencia con lentes abrasivos (areniscas, limolitas, granito y dolomitas)	3 - 1 7 - 2
50000 - 20000	Formaciones extremadamente duras - resistencia muy alta, muy abrasivas (calizas rocas ígneas y metamórficas)	3 - 2 3 - 4 8 - 1

**Tabla 2.1.** Clasificación IADC para barrenas (Continuación)

Existen cierto tipo de barrenas que son reconocidas no por su código IADC, sino por la marca o nombre de la misma. A estas barrenas se les tiene establecidas generalmente por distrito (zona) o más específicamente por campo

Una forma comúnmente utilizada para la optimización de la perforación es elegir, con base en los parámetros de perforación como: tipo de barrena, peso sobre la barrena, velocidad de rotación y velocidad de penetración, a la barrena que mejores resultados haya dado en los pozos de correlación.

Como muestra de lo anterior puede observarse la Figura 2.5 (profundidad vs promedio de penetración en minutos por metro) en la cual se muestran los registros de barrenas para tres pozos de correlación.

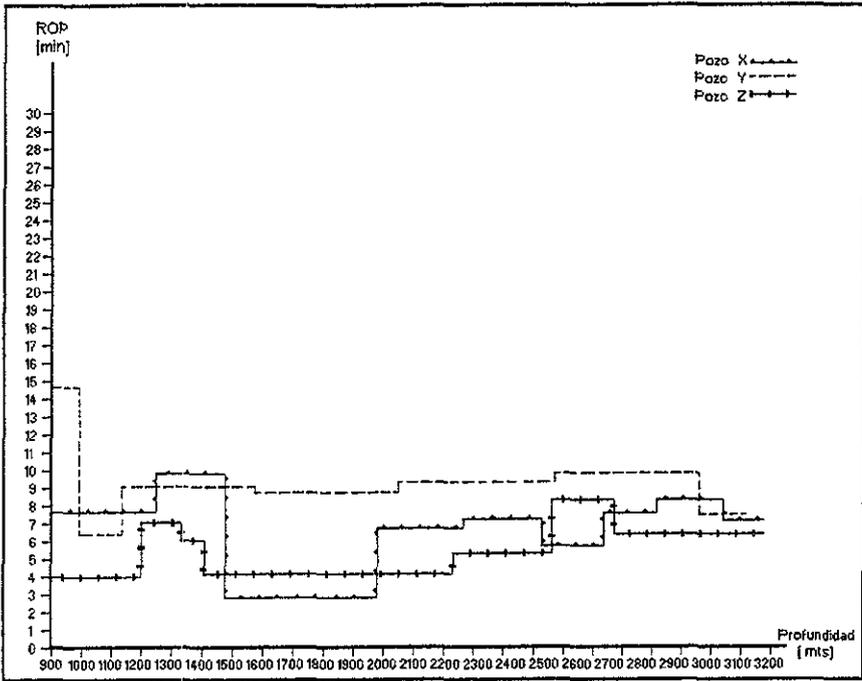


Figura 2.5. Gráfica de Profundidad vs Promedio de penetración.

---

---

### 2.3.3. PROGRAMA DE FLUIDOS

Al hablar de fluidos de perforación se hace referencia a un amplio rango de fluidos, líquidos y gases, que son utilizados durante la perforación.

Dichos fluidos pueden ser: aire, gas natural, agua o aceite o lo más comúnmente usado que es una combinación de líquidos con ciertos aditivos químicos.

Estos fluidos tienen como sus principales propósitos a los siguientes:

- Sacar los cortes a la superficie
- Limpiar el fondo del agujero.
- Enfriar y lubricar la sarta de perforación y la barrena.
- Mantener la integridad del agujero.
- Minimizar la corrosión de las tuberías.
- Mejorar la velocidad de la perforación.

#### Sacar los cortes a la superficie

El sistema de lodos es el encargado de transportar a la superficie los recortes hechos por la barrena. Para esto es necesario que la velocidad del fluido dentro del espacio anular sea mayor que la velocidad de asentamiento de las partículas

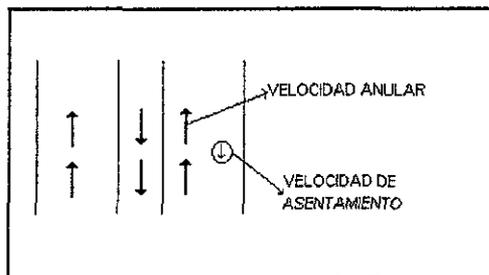


Figura 2.6. Velocidad anular del fluido.

---

Cuando la circulación del lodo es suspendida, este debe mantener los cortes para evitar que caigan al fondo y atrapen la sarta de perforación

### **Limpiar el fondo del agujero**

Cuando la barrena corta un fragmento de la formación, estos fragmentos tienden a permanecer en su lugar, debido a la diferencia de presión que existe entre la hidrostática del lodo y la de la formación. Es entonces cuando el lodo penetra debajo de los fragmentos ayudando a su movilización.

### **Enfriar y lubricar la sarta de perforación y la barrena**

Debido a que la perforación genera altas temperaturas por las fricciones entre el pozo y la sarta de perforación y la barrena con la formación perforada, se hace necesaria la presencia de los fluidos para que transmitan el calor generado hacia la superficie, así como para lubricar el pozo.

### **Mantener la integridad del agujero**

Es muy común que en los pozos se presenten problemas de estabilidad en las paredes del agujero descubierto debido a los fenómenos geológicos como zonas fracturadas, hidratación o zonas presurizadas. El lodo debe tener las características necesarias (principalmente densidad) para controlar los problemas presentados, de tal forma que se puede continuar con la perforación del pozo con estabilidad.

### **Minimizar la corrosión de las tuberías**

El H<sub>2</sub>S es un gas que causa la fragilización y falla del acero de las tuberías. Por esto en los pozos con formaciones que contienen H<sub>2</sub>S se requiere que los fluidos utilizados tengan ciertos componentes que ayuden a contrarrestar los efectos causados por los contaminantes. Por ejemplo para el caso del H<sub>2</sub>S, al fluido se le pueden agregar secuestrantes que ayudarán a la eliminación del contaminante.

---

## Mejorar la velocidad de la perforación

La velocidad de perforación se ve afectada por varias propiedades del sistema de lodos. Ciertos componentes del fluido pueden hacer que la perforación sea más lenta, y como el tiempo de perforación influye directamente en los costos del pozo, deberá programarse el sistema de lodos que permita la más rápida perforación, esto claro tomando en cuenta la estabilidad del agujero y los daños que puedan generarse en la formación.

## TIPOS DE FLUIDOS

Los fluidos de perforación pueden dividirse en 3 grandes grupos

- Base Agua
- Base Aceite.
- Aire.

### Fluidos base agua

Como su nombre lo indica, su fase continua es el agua aunque puede contener un poco de aceite o aire como fases discontinuas.

A estos fluidos se les puede agregar arcillas, polímeros y densificantes. También se les puede agregar productos especiales que controlen propiedades como filtrado, pH, viscosidad, etc.

- **Fluidos Base Agua Inhibidos.** Se usan para disminuir problemas de derrumbe. La principal razón de los derrumbes es la hidratación de las arcillas y dicha hidratación puede retardarse usando lodos inhibidos. Estos lodos pueden a su vez clasificarse en 4 tipos que son: base yeso, cálcicos, lodos de agua de mar y lodos saturados con sal
- **Lodos Dispersos.** Se utilizan para perforar formaciones jóvenes con arcillas de alta actividad. Su función es que las placas de arcilla se separen o dispersen dentro de la fase líquida.
- **Lodos No Dispersos.** Generalmente se preparan con bentonita. Se utilizan polímeros para incrementar el efecto de la bentonita y floculantes, para flocular los sólidos perforados.
- **Salmueras.** Son usados donde no se requieren altas densidades y/o altas viscosidades. También se usan en la reparación de pozos. Pueden constituirse por sales de cloruro de potasio, cloruro de sodio, cloruro de calcio/bromuro de calcio o cloruro de calcio/bromuro de calcio/bromuro de zinc

---

### **Fluidos base aceite**

Tienen como base continua el aceite crudo o refinado y se clasifican como los que tienen una concentración de agua menor del 5 % y las emulsiones inversas que tienen una concentración de agua mayor del 5 %. Estos fluidos son utilizados para perforar zonas donde existen arcillas hidratables o H<sub>2</sub>S

Por años el diesel ha sido el principal fluido utilizado como base continua en estos fluidos, pero debido a la alta contaminación que puede resultar de este, actualmente se está incrementando el uso de aceites minerales o aceites parafínicos que son menos contaminantes.

### **Fluidos aireados**

Este tipo de fluidos incluyen aire, gas, niebla, espuma o lodos aireados que son utilizados para la perforación de zonas de pérdida de circulación. Además con estos fluidos se obtiene una mayor velocidad de perforación.

Aunque cuando se perfora con aire o gas se pueden presentar problemas, estos se deben a que sus volúmenes son insuficientes para remover los cortes.

El perforar con niebla o espuma reduce la presión hidrostática en el pozo. Los aditivos para estos fluidos son: detergentes, inhibidores de corrosión, lubricantes y viscosificantes.

---

### 2.3.4. PROGRAMA DE HIDRÁULICA

En la perforación de un pozo el sistema hidráulico tiene como principal objetivo hacer circular el fluido de perforación para

- Controlar las presiones subsuperficiales.
- Remover los cortes del agujero
- Enfriar y lubricar la barrena y la sarta de perforación.
- Incrementar la velocidad de penetración

#### **Presión hidrostática**

De forma práctica, se define como la presión hidrostática a la presión estática de una columna de fluido y es una característica necesaria para mantener el control del pozo.

Esta presión es función de la densidad del lodo y la profundidad vertical del pozo

Si la columna del fluido se constituye por secciones de diferentes densidades, entonces la presión hidrostática será la suma de todas las secciones.

#### **Densidad equivalente**

Es común que cuando se tienen arreglos complejos de presión y densidades de fluidos se conviertan a una "densidad equivalente de lodo" que genere la misma presión en un sistema estático sin presión en la superficie.

#### **Flotación**

Un efecto benéfico del fluido de perforación es que ayuda a disminuir la carga al gancho. Al introducir la tubería al pozo, el lodo soportará o hará flotar cierto peso de la misma. Esta fuerza de flotación está en función del volumen y peso del fluido desplazado.

---

---

## TIPOS DE FLUJO

La forma en que el fluido se comporta dentro del pozo puede variar y a este comportamiento se le conoce como régimen (o tipo) de flujo. Los flujos más comunes son: laminar, tapón y turbulento.

### Flujo laminar

Este flujo puede ser descrito como capas individuales que se mueven paralelas a través de la tubería o el espacio anular.

Las capas centrales se mueven a mayor velocidad que las que se encuentran en la cercanía de la tubería o de la pared del pozo.

Los lodos con alto punto de cedencia hacen que estas capas se muevan a velocidades más uniformes, ayudando así a tener una buena capacidad de acarreo de los cortes.

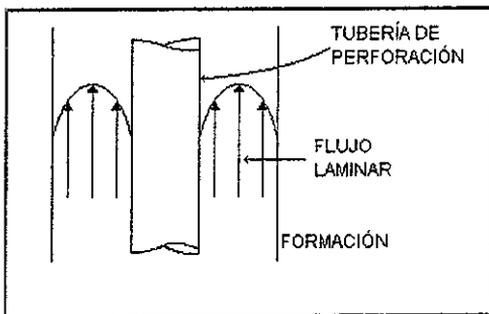
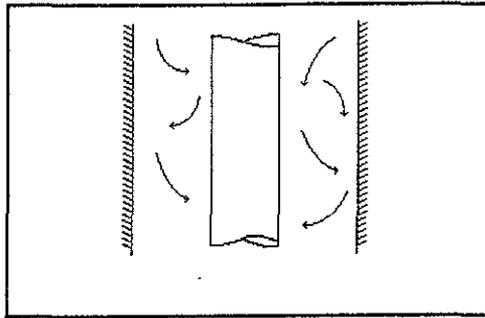


Figura 2.7. Flujo laminar en un agujero.

### Flujo turbulento

El efecto de turbulencia se presenta cuando al incrementarse la velocidad del flujo, de forma que el lodo pierde su habilidad para circular en régimen laminar, presentándose de esta forma un flujo caótico y turbulento.



**Figura 2.8.** Flujo turbulento en un agujero.

### **Flujo transicional**

Debido a que es muy difícil estimar o determinar la velocidad de circulación a la cual el flujo comienza a fluir en régimen turbulento, se deben describir a estas zonas como zonas de transición

### **Caída de presión en la barrena**

El mayor porcentaje de la presión de circulación se pierde a través de las toberas de la barrena. La caída de presión no es tanto por la fricción sino por la reducción del diámetro

---

---

### 2.3.5. PROGRAMA DE CEMENTACIÓN

La cementación consiste en mezclar y desplazar una lechada de cemento hacia el fondo del pozo a través de la tubería de revestimiento y después hacia el espacio anular en donde fraguará. Las cementaciones pueden clasificarse en,

- Primarias.
- Forzadas (secundarias).
- Tapones.

#### **Cementaciones primarias**

Las cementaciones primarias se realizan inmediatamente después de que se ha corrido una tubería y sus principales objetivos son:

- Adherir a la tubería con la formación
- Aislar horizontes productores
- Aislar zonas de alta presión
- Aislar zonas de pérdida de circulación

*Aunque la mayoría de las cementaciones se ejecutan bombeando el cemento por el interior de la tubería de revestimiento, existen otras técnicas para colocar el cemento en el espacio anular*

- Cementación en varias etapas.
- Cementación a través de la tubería de perforación.
- Cementación con tubing por el espacio anular.
- Cementación con circulación inversa.
- Cementación super retardada.

Algunas recomendaciones para conseguir una buena cementación son.

1. Realizar un viaje corto para asegurarse de que no hay restricciones en el pozo.
2. Acondicionar el lodo.
3. Instalar una zapata y un cople flotador

- 
4. Instalar raspadores de acuerdo a la localización de la zona productora.
  5. Hacer uso de centradores.
  6. Utilizar cemento con densidad mayor a la del lodo.
  7. Utilizar un registro de calibración para calcular el volumen del cemento
  8. Utilizar un tapón limpiador y un desplazador
  9. Mantener en tensión la tubería de revestimiento hasta que el cemento fragüe.
  10. Antes de perforar la tubería de revestimiento o dispararla, probar la cementación.

### **Cementaciones forzadas**

Las cementaciones forzadas son realizadas con bombas de alta presión y se llevan a cabo por las siguientes razones:

- Remediar cementaciones primarias fallidas.
- Reducir relaciones agua - gas - aceite o agua - aceite.
- abandonar temporalmente una zona productora.
- Operaciones de reparación del pozo.
- Tapar zonas de pérdida de circulación.
- Controlar un pozo.

### **Tapones de cemento**

Los tapones de cemento se utilizan para lo siguiente:

- Aislar cierta parte del pozo.
- Desviar un pozo.
- Abandono de un pozo
- Tapar zonas de pérdida de circulación

La forma más común para colocarlos es la de tapón balanceado, aunque también se pueden usar técnicas de columnas balanceadas o dejar caer el tapón.

Para utilizar el método de tapón balanceado debe realizarse una cuidadosa planeación para asegurar que el tapón quede en la posición correcta

El uso de la técnica de colocación de tapones por columnas balanceadas se lleva a cabo cuando el nivel del lodo no llega hasta la superficie. Es por esta razón que cuanto más exacta sea la medición de la profundidad del nivel del lodo mejores resultados se obtendrán

### Clasificación de los cementos

El Instituto Americano del Petróleo (API) ha establecido una clasificación de los cementos usados en los pozos petroleros, la cual se presenta en la tabla 2.2.

Clase A	Para usarse hasta 1830 m de profundidad cuando no se requieren propiedades especiales. Similar al cemento C 150, tipo I de la ASIM
Clase B	Para usarse hasta 1830 m de profundidad cuando se requiere una resistencia moderada al ataque de los sulfatos. Similar al cemento C / 150, tipo II de la ASIM.
Clase C	Para usarse hasta 1830 m de profundidad cuando se requiere una alta resistencia a la compresión a corto tiempo. Similar al cemento C 150, tipo III de la ASIM. Está disponible en dos tipos: con regular y con alta resistencia al ataque de los sulfatos.
Clase D	Para usarse a profundidades entre 1830 m y 3050 m cuando se tenga una temperatura y presión moderadamente alta. Se encuentra disponible en dos tipos: con regular y con alta resistencia al ataque de los sulfatos
Clase E	Para usarse a profundidades entre 1830 m y 4270 m cuando se tenga una temperatura y presión alta. Se encuentra disponible en dos tipos: con regular y con alta resistencia al ataque de los sulfatos
Clase F	Para usarse a profundidades entre 3050 m y 4878 m cuando se tenga una temperatura y presión extremadamente altas. Se encuentra disponible en dos tipos: con regular y con alta resistencia al ataque de los sulfatos
Clase G y H	Para usarse hasta 2439 m sin aditivos (tal como se fabrica) o puede usarse con aceleradores y retardadores para cubrir un amplio rango de profundidades y temperaturas. Se encuentra disponible en dos tipos, con moderada y con alta resistencia al ataque de los sulfatos

Tabla 2.2. Clasificación de cementos API

---

Clase I	Para usarse a profundidades entre 3658 m y 4878 m sin aditivos, cuando se tengan presiones y temperaturas extremadamente altas. Se puede usar con aceleradores y retardadores; sin embargo, no fraguará en temperaturas menores de 66 C si no tiene aditivos.
---------	---

Tabla 2.2. Clasificación de cementos API. (continuación)

### Características de las lechadas

Los factores más importantes para el diseño de la lechada son:

- Rendimiento.
- Densidad
- Agua para el mezclado.
- Tiempo de bombeabilidad.
- Resistencia a la compresión.
- Filtrado.
- Temperatura de fondo

El rendimiento de la lechada es el volumen que ocupa un saco de cemento, agua para el mezclado y los aditivos que contenga.

La densidad de la lechada debe ser la adecuada para evitar un brote o descontrol y al mismo tiempo no ocasionar una pérdida de circulación.

La cantidad de agua para el mezclado varía en función del tipo de cemento y la densidad de la lechada.

El tiempo de bombeabilidad es, tal vez, el factor que más influye en el desplazamiento del cemento, ya que es el tiempo en que se puede bombear la lechada manejando las presiones adecuadas. Los factores que más afectan a este tiempo son la composición de la lechada y la temperatura.

---

La resistencia a la compresión del cemento es importante porque tiene como objetivos el sostener a la tubería y soportar las presiones que se desarrollan en el pozo.

El filtrado es la pérdida de agua de la lechada hacia la formación durante su desplazamiento.

### **Aditivos para cementos**

Los aditivos tienen como objetivo el proporcionar ciertas cualidades a la lechada y se pueden dividir en:

- Aceleradores.
- Retardadores.
- Densificantes.
- Reductores de densidad.
- Dispersantes.
- Aditivos para el control del filtrado.
- Control de pérdida de circulación.
- Especiales

### **Aceleradores**

Se utilizan para reducir el tiempo de fraguado de la lechada para poder continuar con la perforación y los más comunes son

- Cloruro de calcio.
- Cloruro de sodio
- Silicato de sodio.

### **Retardadores**

Estos se utilizan para aumentar el tiempo de bombeabilidad con el objeto de poder desplazar la lechada sin que fragüe dentro de la tubería y los más comunes son:

- Lignosulfonato cálcico.
- Carboximetil Hidroxietil Celulosa (CMHEC)

- 
- *Acidos orgánicos*
  - Borax.

### **Densificantes**

Este tipo de aditivos se utilizan para aumentar la densidad de la lechada, por eso mismo son materiales sólidos de alta densidad como,

- Hematita.
- Ilmenita.
- Barita
- Arena.

### **Reductores de densidad**

Como su nombre lo indica se utilizan para reducir la densidad de la lechada y entre los más usados se encuentran:

- Bentonita.
- Tierras diatomáceas
- Hidrocarburos sólidos.
- Perlita expandida.
- Puzolanas.

### **Dispersantes**

Cuando la lechada presenta una alta viscosidad a las velocidades de corte se hace necesario disminuirla para:

1. Requerir de menor potencia durante el desplazamiento.
2. Reducir caídas de presión por fricción en el espacio anular
3. Desplazar la lechada en flujos turbulentos a bajos gastos de bombeo

Los dispersantes más usados son:

- Lignosulfonato cálcico

- 
- Cloruro de sodio.
  - Algunos tipos de polímeros.

### **Aditivos para el control del filtrado**

Es conveniente que no se tenga una gran pérdida de agua de la lechada hacia la formación con el objeto de:

- 1 Reducir la hidratación de lutitas
- 2 Prevenir la formación de puentes anulares que actúen como empacadores.
- 3 Disminuir la velocidad de deshidratación del cemento cuando se este taponando un intervalo agotado.

Los aditivos más usados son:

- Latex
- Bentonita con dispersante.
- Carboximetil Hidroxietil Celulosa.
- Polímeros orgánicos.

### **Control de pérdida de circulación**

Cuando existe pérdida de circulación se debe a la entrada del fluido de perforación o la lechada hacia la formación. Es por eso que si al efectuar una cementación se piensa que puede haber pérdida de circulación es prudente acondicionar la lechada con ciertos aditivos que puedan prevenir estas pérdidas.

---

### 2.3.6. DISEÑO DE SARTAS DE PERFORACIÓN

La sarta de perforación es un elemento *muy importante* en la perforación de un pozo. Algunos de sus objetivos *principales* son:

- Servir de conducto para los fluidos.
- Dar movimiento rotatorio a la barrena
- Dar peso a la barrena.
- Colocar taponos de cemento.
- Cementar la tuberías de revestimiento.

Una sarta de perforación está *compuesta* por muchos elementos, de los cuales los *principales* son

- Barrena.
- Doble caja
- Amortiguador.
- Lastrabarrenas
- Junta de seguridad.
- Estabilizadores.
- Aceleradores
- Tubería extrapesada.
- Tubería de perforación.
- Flecha/sustituto de la flecha
- Hules protectores.

### MÉTODOS DE DISEÑO

#### ***Método de flotación***

Se conoce como el peso flotado de los lastrabarrenas al peso que es soportado por el mástil cuando los lastrabarrenas están dentro del pozo. Siendo este peso siempre menor que el peso en el aire.

---

Uno de los problemas que pueden presentarse durante la perforación es el pandeo de la sarta, pero se puede evitar no aplicando pesos sobre la *barrena mayores que el peso flotado* de los lastrabarrenas

Una vez calculado el peso flotado de los lastrabarrenas, debe agregarsele entre un 15% y un 20% más como margen de seguridad.

#### **Método de presión en el área**

Debido a que las juntas de la tubería de perforación se diseñan para trabajar en tensión, el diseño de las sargas también se realiza tomando en cuenta la tensión

Al analizar la tensión en una sarga se determina la cantidad de peso que se puede aplicar a la *barrena sin que el punto neutro* tensión - compresión se recorra hacia la tubería de perforación.

Este análisis de tensión incluye el peso de la tubería, el peso de los lastrabarrenas y las fuerzas hidrostáticas verticales que actúan sobre la tubería

#### **Tubería de perforación**

La tubería de perforación es la sección más larga de una *sarga de perforación*. Cada tubo incluye, además del cuerpo mismo, las juntas para conectarse con más tubos. Los factores que influyen en su selección son el colapso, tensión, aplastamiento por cuñas y la severidad de pata de perro

La tensión y colapso son utilizados para seleccionar el peso, grado y tipos de junta de la tubería. El aplastamiento por cuñas afecta a la tensión y por lo tanto a lo anterior. El análisis de la pata de perro se realiza para determinar el daño por fatiga resultante por la rotación en un cambio de ángulo en la pata de perro.

### 2.3.7. ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE PERFORACIÓN

Esta parte del diseño involucra no solo a los tiempos en que se perfora, sino también a los tiempos en que se cambia de etapa, se cementa e incluso a los tiempos que requiere el transporte del equipo de perforación.

La forma en que se realiza esta estimación es consultando la información de los pozos de correlación. Y con base en las similitudes que se tenga de estos pozos con el que se está planeando se podrá realizar una estimación más exacta.

De estos tiempos se realiza generalmente una gráfica de Tiempo vs Profundidad, como la mostrada en la Figura 2.9.

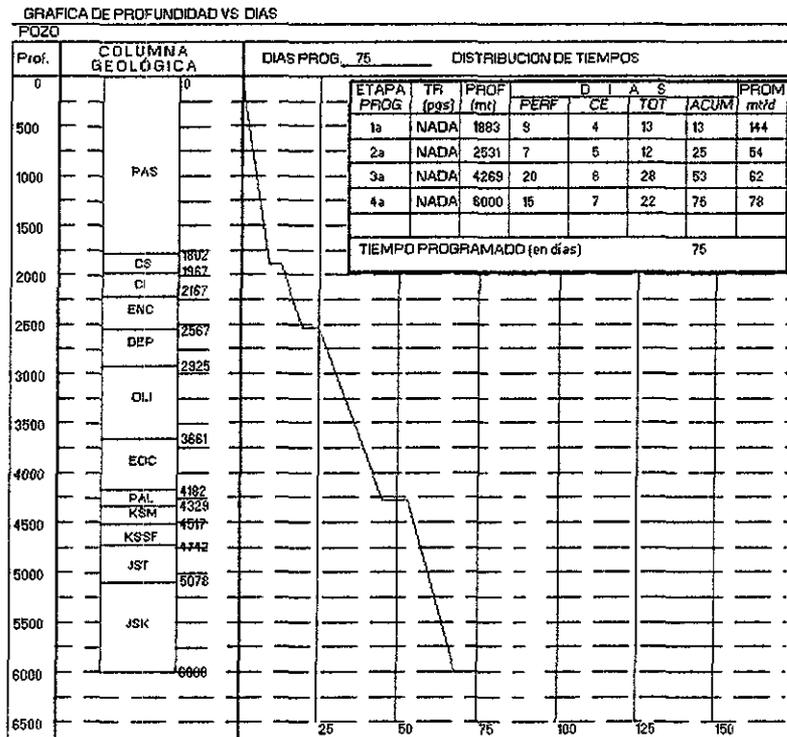


Figura 2.9. Gráfica de Tiempo vs. Profundidad.

---

---

### 2.3.8. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN

La elección del equipo de perforación es un factor importante para realizar una económica y exitosa perforación. Una mala elección puede ser la causa de daños a la formación o de otro tipo de problemas. Las funciones principales de un equipo de perforación son:

- Perforar el pozo
- Bajas las tuberías.
- Cementar el pozo.
- Tomar registros
- Realizar pruebas de formación.

La forma en que se realiza la elección es calculando las diferentes cargas que se colocarán sobre el equipo y seleccionar de entre los que satisfagan los requerimientos al más económico. Esta selección se lleva a cabo una vez que ya se tiene diseñado el pozo.

En la selección del equipo debe tenerse en cuenta a los siguientes sistemas.

- De potencia.
- De izaje.
- Mástil y subestructura
- De rotaria.
- De circulación.
- Control de presión.

#### TIPOS DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN

##### Equipos terrestres

Dentro de los equipos terrestres se tienen diferentes tipos que son:

- De percusión o de cable.
- Con torres estándar
- Autotransportables.
- Convencionales.

---

## **Equipos de percusión o de cable**

Este tipo de equipos casi no se utilizan en la actualidad. La perforación con cable se realiza levantando una barrena especial y después dejándola caer sobre la roca. Con estos equipos no se utiliza ningún tipo de fluido de perforación, para sacar los cortes se usa una cubeta.

Estos equipos ya no se utilizan por presentar las siguientes desventajas:

Poco control de las presiones de formación  
Problemas por inestabilidad de las formaciones.  
Técnicas de terminación restringidas.  
Profundidades someras.

## **Equipos con torres estándar**

En un inicio estos equipos tuvieron ventaja sobre los de percusión debido a su resistencia y altura, con lo que se podían manejar tubos de mayores longitudes

Un inconveniente de estos equipos era que requerían de mucho tiempo para ser armados y desmontados. Por esta razón se diseñó una torre (mástil) que consta de pocas secciones para ser armado

## **Equipos autotransportables**

Se les considera así a los equipos que están montados en un camión. Este camión contiene el mástil, malacate, motores y las bombas de lodo.

La ventaja principal es que requieren de muy poco tiempo en ser desmantelados e instalados.

## **Equipos convencionales**

Se les denomina así a los equipos cuyos componentes principales son tan grandes que no se pueden montar en un camión pero pueden transportarse en secciones

---

## **EQUIPOS MARINOS**

Dentro de los equipos marinos se consideran dos grupos, asentados en el fondo y flotantes.

### **Asentados en el fondo**

#### **Barcazas**

Son utilizadas para perforar en tirantes de agua de 2.5 a 6 metros. La barcaza se remolca hasta su objetivo y se hunde por medio de tanques de lastre.

#### **Plataformas autoelevables**

Esta plataforma se remolca hasta su objetivo y se *bajan sus soportes* hasta el fondo, después se eleva la unidad tipo barcaza por encima del nivel del mar

#### **Plataformas fijas**

Este tipo de plataformas son utilizadas cuando se descubren yacimientos económicamente atractivos mar adentro. De la plataforma se perforan varios pozos direccionales para la explotación del yacimiento

### **Flotantes**

#### **Barcos perforadores**

Estos barcos utilizan una unidad tipo barco como estructura principal para soportar el equipo de perforación.

#### **Plataformas semisumergibles**

La ventaja de estas plataformas es su *estabilidad, que proporciona un mejor rango en condiciones de operación.*

**DISEÑO Y DESARROLLO DEL  
SISTEMA EXPERTO**

---

---

### 3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el ámbito de la industria petrolera los problemas han aumentado conforme al crecimiento de las necesidades energéticas a satisfacer en cuanto a volúmenes de crudos y a la calidad de los combustibles refinados. Ambos casos son dependientes de factores críticos como, tiempo de localización y diseño de pozos, calidad del diseño, tiempo de perforación, extracción del petróleo, calidad del crudo.

Para conseguir una mejor explotación de los pozos petroleros, es necesario disminuir los costos del proyecto, del diseño, operación y mantenimiento de los mismos, así como homogeneizar procesos y/o propuestas involucradas. Esto podría lograrse a través de la automatización de la gestión de los pozos petroleros en las fases en que esto sea posible, tales como el diseño de los mismos, el programa detallado de los equipos principales, la perforación de los mismos.

También existe un número reducido de ingenieros que planean la perforación de los pozos, los cuales, frecuentemente tienen que estar presentes en los campos petroleros y por lo mismo tienen una gran carga de trabajo, que va desde realizar algunos cálculos matemáticos hasta el llevar a cabo diversos estudios para poder tomar alguna decisión con respecto a un problema o situación.

El diseño óptimo de un pozo petrolero es una tarea que involucra a varias áreas de conocimiento, las cuales se debieron haber desarrollado por varios años para lograr la experiencia necesaria para reducir al mínimo los riesgos de algún accidente, así como varios procedimientos matemáticos ya establecidos.

El problema que se plantea y al cual se le desea dar solución es el que involucra al diseño de los pozos petroleros. Después de un análisis de los planteamientos hechos por los ingenieros de diseño se detectaron los siguientes problemas a los que actualmente se enfrentan durante la elaboración de los diferentes programas que se deben crear:

- a) La información de los pozos de correlación se encuentra en forma escrita y no clara para lograr un mejor análisis de los problemas en otros pozos. Esto es debido a que la información se encuentra contenida en papel y desordenadamente y en ocasiones ya no es legible para las personas o falta algún tipo de dato para tomar la información como real y considerarla para el diseño

- 
- b) La falta de tiempo disponible por parte de los ingenieros expertos en cada una de las áreas involucradas durante el diseño del pozo. Esto se puede observar cuando se presenta algún problema en determinado pozo y tienen que ir a verificarlo varios ingenieros, esto puede llevar varios días y por lo tanto, si durante este tiempo se está diseñando la perforación de algún pozo, es posible que el ingeniero que sabe sobre ese problema no esté, entonces, el diseño se retrasa.
  - c) La unificación de criterios y métodos de diseño de pozos. Esto se puede observar cuando al presentarse un problema ingenieros diferentes dan soluciones diversas al mismo, por lo cual debe establecerse una unificación de criterio.
  - d) La falta de acceso a la información en medios magnéticos.
  - e) Al existir varios campos productores en la Región Sur se tiene una gran problemática, ya que cada uno de éstos entrega los programas detallados del diseño por escrito de diferente forma por lo que no es muy fácil comparar los pozos de una región con los de otra.

Los problemas descritos anteriormente traen consigo una serie de contratiempos como pueden ser tiempo excesivo en el diseño del pozo, lo que repercute en un costo más alto en la etapa del diseño; información excesiva que al no estar correctamente clasificada y almacenada en un medio magnético puede perderse, lo que repercute en que gran parte de la experiencia de los ingenieros ya no pueda ser recuperada. Otro problema que se presenta es el de la toma de decisiones cuando se está en el diseño y no se cuenta con un experto que pueda ayudar a resolver algún problema, por lo que se detiene el mismo hasta que disponga del tiempo para ayudar.

Tomando en cuenta las características anteriores para la perforación de pozos petroleros y haciendo un análisis detallado de todas las variables involucradas en el diseño de los mismos, se llegó a la conclusión de que puede desarrollarse un Sistema Experto para facilitar la etapa de diseño, y con esto lograr una reducción de costos y tiempo. Esto es posible gracias a que se pueden integrar los razonamientos de los expertos de cada área involucrada, así como los cálculos matemáticos que se utilizan en el mismo y programas externos utilizados para el diseño.

El objetivo preciso de este proyecto es diseñar y desarrollar un Sistema Experto que apoye el proceso del diseño de perforación de pozos petroleros, homogeneizando los criterios involucrados en el mismo e incrementando la calidad de la planeación de la perforación y logrando que se aplique el mismo criterio para la solución de problemas en todos los campos existentes.

---

Con la aplicación de un Sistema Experto, identificando y solucionando la problemática del desarrollo e integración de acuerdo a los requerimientos de utilización, se desea demostrar la utilidad de la Inteligencia Artificial (específicamente los Sistemas Expertos) en la industria petrolera mexicana

## 3.2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

El Sistema Experto a desarrollar tiene como finalidad el de ayudar a los ingenieros de diseño de pozos petroleros a obtener un programa detallado de perforación en el cual se unifiquen criterios para la toma de decisiones durante los diseños de la perforación de pozos, así como lograr una alta calidad en el programa de perforación de los mismos.

### 3.2.1. FUNCIONES DEL SISTEMA EXPERTO

El Sistema Experto para el Diseño de Perforación de Pozos (SEDIPP) tiene como objetivos principales los siguientes:

- Disminuir los costos en el diseño de los pozos para lograr mayor viabilidad en los mismos
- Analizar todas las problemáticas que se pueden presentar y en un tiempo muy corto para lograr diseños más exactos.
- Disminuir el tiempo que le debe dedicar un experto a tareas de diseño que a veces se toman laboriosas y repetitivas; esto con el objetivo de que se dediquen a tareas que requieran su presencia más tiempo y sean de mayor importancia.
- Lograr una reducción en el número de razonamientos erróneos así como de cálculos matemáticos.
- Garantizar la continuidad del diseño en caso de la ausencia del experto.
- Homogeneizar criterios para la el diseño de los pozos.
- Integración con programas ya existentes y con bases de datos

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Se planeó que SEDIPP pueda ser utilizado por los ingenieros involucrados en el diseño de los pozos, aunque tengan muy poco conocimiento de lo que es un Sistema Experto, pero sin dejar de lado que sólo los expertos van a poder interpretar los resultados obtenidos e introducir variables necesarias para el sistema.

SEDIPP se desarrollo en un lenguaje que permite tener una interfase sencilla y agradable para el usuario final y al mismo tiempo un mejor control de su diseño.

Durante el análisis de alternativas se consideró la disponibilidad de los expertos para colaborar en el desarrollo del Sistema Experto, los cuales lo hicieron incondicionalmente.

### 3.2.2. ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA EXPERTO

En el siguiente diagrama de bloques se presenta el Sistema Experto con cada uno de los módulos que lo conforman

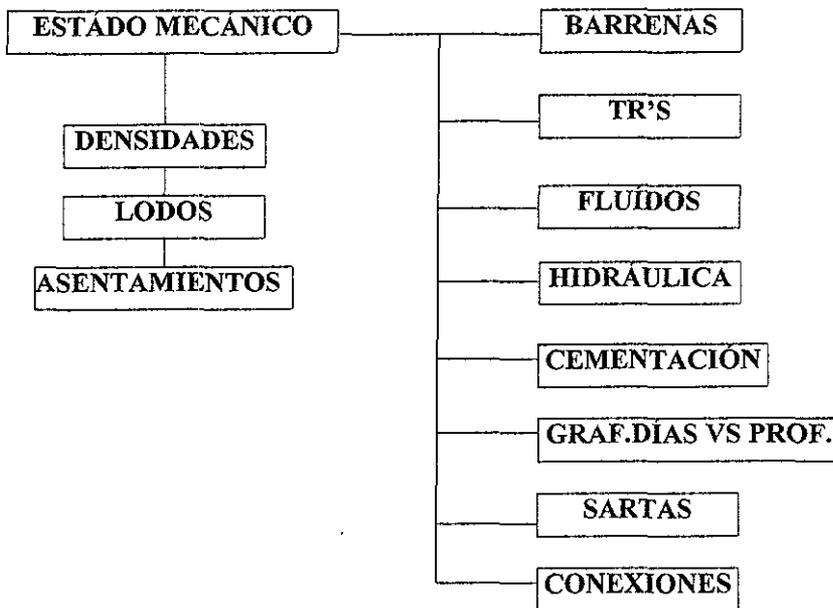


Figura 3.1. Módulos que conforman el Sistema Experto.

---

La primera etapa del diseño consta de tres módulos que son Densidades, Lodos y Asentamientos; éstos módulos son los principales ya que son los que van a definir que tan eficiente y segura va a ser la perforación del pozo, es por eso que en éstos módulos se aplica la mayor expertés de los ingenieros, es aquí donde se aplicarán más las reglas para la toma de decisiones del sistema. En el módulo de Asentamiento se selecciona la Tubería de Revestimiento que se va a poner durante la perforación así como su profundidad de asentamiento. En el módulo de Fluidos se seleccionan los diferentes tipos de fluidos que se van a utilizar en la perforación y a que profundidades se van a emplear. En el módulo de Barrenas se elegirá con que tipo de barrena se va a perforar el pozo, esto se hará con base en pozos perforados anteriormente, de los cuales su información correspondiente está contenida en una tabla en donde se encuentra la información de todas las barrenas que se utilizaron y a que profundidades durante la perforación del mismo.

El Sistema Experto va a tener la capacidad de analizar información de la base de datos de Pemex (SIOP) la cual está diseñada en una base de datos de Sybase, el cual tendrá la capacidad de decidir a que profundidad se tienen que poner las tuberías de revestimiento así como las densidades para la perforación, esto lo realizara después de un análisis de datos tanto de pozos de correlación como de información que el operador deberá de ir introduciendo.

El sistema durante el análisis de información también utilizará programas externos que actualmente los ingenieros de diseño ya utilizan para la elaboración del programa detallado, los programas integrados son CEMENTA, GEOPRES e HIDRAULI los cuales fueron creados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), otro programa es GRADMODE creado por la empresa MAURER.

Una vez que se ha identificado el problema a resolver y realizando un minucioso análisis del conocimiento que se ha obtenido, se procede a decidir cuales son las herramientas que se utilizarán para la elaboración del Sistema Experto

Para el Sistema Experto se decidió que se debía implantar en una computadora personal, ya que los usuarios finales disponen de equipo de éstas características, pero se tendrá acceso a la base de datos a través de red desde el punto en donde se encuentren hasta la base de datos del SIOP, en el la Figura 3.1 se presenta la forma en la cual va a residir SEDIPP tanto en las computadoras personales como en el servidor central.

### 3.2.3. ARQUITECTURA DE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

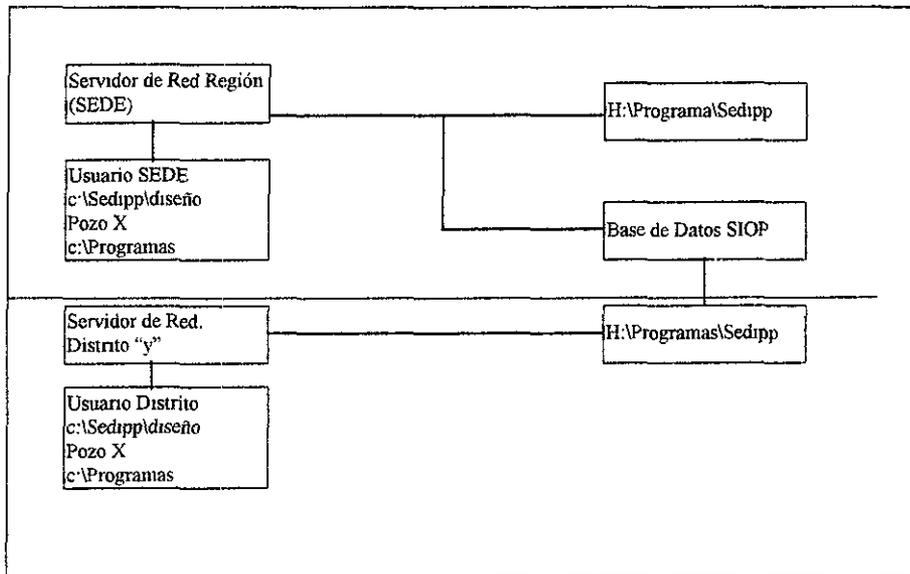


Figura 3.2. Diagrama de Configuración de SEDIPP

### 3.2.4. ALCANCE DEL SISTEMA EXPERTO

- Realizar el diseño de pozos verticales y direccionales
- Tener un alcance geológico en la capa terciaria y en la mesozoica.
- El sistema solo tendrá disponibles los campos que se encuentran en el distrito de Comalcalco.

---

### 3.3. ANÁLISIS DE NECESIDADES PARA EL DESARROLLO

Una vez que se definió en que equipo se va a utilizar SEDIPP, se decidió utilizar para la programación del Sistema Experto un lenguaje de programación para P.C. que permita la *elaboración de interfaces gráficas*, la programación de reglas del conocimiento, e interfaces de usuario amigables, así como una conectividad con la base de datos existente SIOP.

Una vez definidos claramente los puntos descritos anteriormente se eligió utilizar una herramienta de desarrollo que nos permita lo especificado; se optó por utilizar Visual Basic 4.0 para 16 bits, esto debido que en las instalaciones de los usuarios se disponen de equipos que cuentan con Windows 3.11 y Windows 95, pero como en Windows 3.11 sólo corren programas basados en 16 bits se decidió por éste, otra de las cosas por las que se eligió éste software es porque reúne todos los requisitos que se definieron anteriormente. En cuanto a la programación de las reglas también se realizaron en Visual Basic ya que éste lenguaje permite crear su propia máquina de inferencia y como está es la *primera etapa del Sistema Experto* es posible programarlas en Visual Basic debido a que no son demasiadas.

También es necesario contar con un manejador de bases de datos para poder leer datos ya existentes para el análisis, así como para guardar datos generados en el sistema, el manejador de base de datos que se decidió utilizar es Access 2.0 esto debido a su fácil conexión con Visual Basic. También para el desarrollo es necesario la utilización de programas externos utilizados por los expertos y que se integran al sistema para la obtención de resultados necesario para el análisis. Esta herramienta sólo se utilizó para el desarrollo del sistema.

#### 3.3.1. Requerimientos de software y hardware para la elaboración del Sistema Experto

##### Hardware

- Computadora IBM PC AT o compatible
- Microprocesador 80386 o superior.
- 640 Kb de memoria RAM convencional.
- 1024 Kb de memoria extendida
- Unidad de disco flexible de 3 1/2.

- 
- Tarjeta de vídeo EGA o VGA y monitor compatible con Windows VGA color o superior.
  - Ratón compatible con Windows.
  - Puerto de comunicación paralelo
  - Espacio libre en disco duro de 5 Mb mínimos en el cliente

#### **Software**

- Sistema Operativo 5.0 o superior.
- Visual Basic 4.0 para 16 bits.
- Access 2.0 (posteriormente se creo la conexión a Sybase).
- Windows 3.11
- Excel 3.0.
- Programas externos

#### **Características del Hardware utilizado para el desarrollo del Sistema Experto**

Para la elección de la computadora personal se observó que cumpliera con los requisitos que pide Visual Basic 4.0 de 16 bits para su correcto funcionamiento, así como con los periféricos necesarios para las pruebas que se requieren durante la programación del Sistema Experto. El sistema se desarrollo en una computadora que cumple con las siguientes características:

- Computadora personal ACER.
- Microprocesador Intel 80486 de 66 Mhz.
- 640 Kb de memoria RAM base.
- 15 Mb de memoria extendida.
- Unidad de disco flexible 1.2 Mb.
- Unidad de disco duro 1 Gb.
- Monitor Super VGA (800\*600) puntos.
- Resolución máxima de monitor 1024 \* 768
- Número máximo de colores del monitor 16 bits.
- Teclado expandido de 102 teclas en español.
- 4 Ranuras de expansión.
- 2 puertos seriales.
- 2 puertos paralelos.
- Alimentación 125 v/60 Mhz

- 
- *Ratón tipo serie de dos botones, modo Microsoft / PC Mouse.*

#### **Características de Software para el desarrollo**

- Sistema Operativo MS-DOS.

Para el desarrollo del sistema se utilizó el sistema operativo MS-DOS versión 6.2 de la empresa Microsoft Corporation, éste cumple con los requerimientos en cuanto a la versión de sistema operativo que se especificó anteriormente para el desarrollo del sistema

- *Microsoft Windows 3.11.*

Éste sistema es el sistema operativo pero en un ambiente gráfico del sistema operativo DOS, se decidió por esta versión, debido a que el programa se desarrolla para 16 bits y Visual Basic 4.0 corre bajo este ambiente, otro de los motivos por el cual se decidió es que Sistema Experto va a funcionar en una red y esta versión de Windows es para red. Además de que las herramientas de software utilizadas para el desarrollo necesitan mínimo esta versión de Windows.

- Visual Basic 4.0.

Este es un lenguaje desarrollado por la empresa Microsoft, el cual está orientado a eventos, este lenguaje es de programación visual, es decir que los elementos utilizados en la programación son objetos que al momento de estar diseñando sólo basta con tomar uno y ponerlo sobre la forma que se desea y programar en el evento que más nos convenga. Otra de las ventajas es la fácil integración de controles para otros programas, esto con la conveniencia de que más adelante al sistema se le decida integrar un shell para diseño de Sistemas Expertos, sólo bastaría agregar su control para poder manipularlo desde Visual Basic, también es de muy fácil integración con manejadores de bases de datos como son Access, Paradox para Windows, FoxPro para Windows, Dbase para Windows o cualquier otro programa basado en Windows.

En este lenguaje se ha desarrollado las interfaces de usuario y las reglas de razonamiento. Las interfaces se desarrollan en formas las cuales son pantallas con objetos que cumplen con diferentes tareas. Entre los objetos con que puede contar una forma son: recuadros de texto, campos de entrada de datos, lista tipo menú, botones de ejecuciones de tareas, listas de selección, dibujos de selección.

- Access 2.0.

Es la herramienta utilizada para realizar las pruebas de almacenamiento de datos que son requeridos para el análisis de los diferentes módulos del sistema, como pueden ser datos de pozos

---

de correlación, problemas de perforación de otros pozos. También es utilizada para almacenar datos que se van generando y que son necesarios que se almacenen en dicha base para posteriores diseños de pozos. Al llevar a cabo la implementación de SEDIPP en Pemex ya se pudieron hacer pruebas con una copia del SIOP (base de datos de Pemex), que está hecha en Sybase.

- Excel

Está es una hoja de cálculo que es utilizada por SEDIPP ya que se proporcionó una hoja ya elaborada la cual se emplea para el análisis de los pozos direccionales y la cual genera datos que serán utilizados por el sistema durante el diseño.

- ODBC

La conexión ODBC es utilizada para poder comunicar al Sistema Experto con la base de datos Sybase que radica en el servidor de Pemex Región Sur. Todos los accesos a la base de datos se realizan con sentencias SQL para lograr una mayor comunicación con el sistema.

### **3.4. ANÁLISIS DE NECESIDADES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE SEDIPP**

Una vez concluido el Sistema Experto es necesario especificar que características de software y de hardware es necesario tener para que el funcionamiento de SEDIPP sea correcto. Estas características se describen a continuación.

#### **3.4.1. Hardware**

- Computadora IBM PC AT o compatible.
- Microprocesador 80386 o superior.
- 640 Kb de memoria RAM convencional
- 8 Mb de memoria extendida
- Unidad de disco flexible de 1.2 Mb.
- Tarjeta de vídeo EGA o VGA y monitor compatible con Windows VGA color o superior.
- Ratón compatible con windows

- 
- Puerto de comunicación paralelo.
  - Espacio libre en disco duro de 8 Mb mínimos.
  - Impresora, recomendable láser a color

### **3.4.2. Software**

- Sistema Operativo 5.0 o superior.
- Microsoft Windows 3.11 o Windows 95
- Excel.
- Programas externos.

También es necesario tomar en cuenta que la máquina del usuario debe de estar en red para poder tener el acceso en la base de datos y al programa principal.

## **3.5. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO**

### **3.5.1. ADQUISICION DEL CONOCIMIENTO**

Las fuentes de conocimiento de las que se recopiló información para la elaboración del sistema son las siguientes:

- a) A través de libros, manuales de operación proporcionados por Pemex, de la base de datos, información almacenada en diarios de operación de los pozos, de los programas detallados de los pozos de correlación.
- b) A través de entrevistas programadas con los expertos involucrados con el diseño de pozos.

La adquisición del conocimiento se logró de la siguiente manera:

La primer visita se hizo a los Distritos de Cárdenas y Comalcalco para la adquisición de conocimiento en forma general. Después de esta visita se determinó que las áreas principales en las que se debía adquirir conocimiento eran:

- Con los Ingenieros de Diseño (Expertos).

- 
- Con la Sección Química (Expertos)
  - Con el Area de Mantenimiento y Equipo
  - Con el Departamento de Informática (SIOP).

De está primer visita se observaron los pasos que siguen los Ingenieros de Diseño en la planeación de los pozos.

Las Gerencias de Exploración/Producción entregan a los Ingenieros de Diseño la información por escrito en un documento llamado "Datos técnicos de cada una de las localizaciones a perforar". Ya con éstos datos se procede a:

1. Determinar cual es el punto en donde se desarrollará dicho pozo.
2. Calcular las diferentes presiones con que se encontrarán en la perforación del pozo.
3. Determinar las densidades con las que se trabajará, con base en las Presiones de Poro y de Fractura.
4. Determinar fluidos para las diferentes etapas de la perforación.
5. Determinar asentamientos de Tuberías de Revestimiento

Con los datos calculados se diseñan diferentes programas que son:

- De Lodos para perforar.
- De Hidráulica.
- De Aparejos de Fondo.
- De Barrenas.
- De Tuberías de Revestimiento y de Producción.
- De Cementación
- Diseño de Sarta.

Así como las gráficas de:

- Días vs Profundidad.

En las visitas posteriores, se pudo trabajar con los Ingenieros Químicos y con el área de Mantenimiento y Equipo, en los Distritos de Comalcalco y Reforma Y de está visita se obtuvo conocimiento para generar algunas reglas de la Base de Conocimientos referente a los lodos.

---

También se determinaron los criterios para el inicio de desviación cuando el pozo a perforar es direccional

Del análisis hecho se determinó que la Profundidad Inicial de Desviación depende de:

- Suavidad o Dureza de las Formaciones Se prefiere iniciar la desviación en Formaciones Semisuaves.
- Desplazamiento que se tendrá en metros y grados. Preferentemente no se desvían más de 3° cada 30 mts.
- La longitud de desplazamiento que se tendrá iniciando la desviación en un punto o en otro, ya que esto influye directamente en el costo de perforación.

También se realizó otra visita al Departamento de Informática (donde se nos proporcionaron algunas características del SIOP), de la cual se determinaron algunas tablas que contienen información requerida para el análisis que se realizará.

Para una mejor conceptualización del sistema se realizó un programa "demostrativo" con la finalidad de que el personal de Pemex pudiera tener una visión general de que son las tareas que podrán realizar, en que orden tendrá que irse ejecutando las diferentes pantallas, la captura y obtención de datos para el pozo a desarrollar

Del primer análisis del problema se llegó a la conclusión de que se debían tomar en cuenta los siguientes puntos para el diseño de los pozos petroleros.

- El inicio de desviación cuando el pozo a perforar es direccional (se debe iniciar la desviación en zonas semisuaves; se debe contemplar que el desplazamiento que se tenga sea el mínimo óptimo, por cuestión de costos; preferentemente no se desvían más de 3° cada 30 mts.).
- Para determinar el tipo de Lodo a utilizar.
- Para determinar las Densidades para perforar cada etapa.
- Por cada Distrito, para determinar la sarta a utilizar en cada etapa
- Para la Cementación de cada etapa: características de la formación (Arenas, Lutitas, Dolomías, etc.), contaminantes y lodo utilizado.
- De las visitas realizadas al Departamento de Informática (donde se nos proporcionaron algunas características del SIOP), se confirmó la utilidad de ciertas tablas para la obtención de información requerida para el diseño, las cuales serán accedidas por el Sistema Experto

---

### 3.5.2. EXPERTISE DEL SISTEMA EXPERTO

En el diseño de TR's influyen varios factores que son los que determinan el número de etapas que deberá tener nuestro diseño, entre ellos se encuentran las condiciones del suelo, los gradientes que se presenten, la profundidad del objetivo del pozo, entre otros.

El diseño cuenta con cuatro etapas fundamentales, que en cualquier caso se deberán contemplar que son:

- Conductora
- Superficial
- Intermedia
- Productora

Se pueden presentar más etapas, dependiendo, como se mencionó anteriormente, de los factores que se presenten. A continuación se explica el objetivo de cada una de las mismas, así como las condiciones en las que deberán contemplarse más etapas.

- **CONDUCTORA:** Esta es la etapa más superficial, inicia en la superficie de la tierra y termina, comúnmente a una profundidad de 50 m, ya que su objetivo es aislar acuíferos y tener un medio de circulación del fluido de perforación.
- **SUPERFICIAL:** Esta etapa inicia generalmente a los 50 m y su profundidad final varía dependiendo de las condiciones específicas del pozo, como la longitud máxima de agujero descubierto, y la profundidad mínima del lodo de emulsión inversa a emplearse en la siguiente etapa. El propósito de esta etapa es ganar gradiente para aumentar la densidad del lodo e instalar condiciones superficiales de control. Se deben cumplir algunas condiciones para aumentar la densidad del lodo, en primera, es importante considerar que la densidad utilizada en esta etapa no debe ser mayor que la densidad máxima soportada por la etapa conductora y además deberá ser mayor que la densidad máxima calculada de la siguiente etapa:

$$d_{\text{máx},1} \geq d_{\text{usada}} \geq d_{\text{máx},n}$$

Esta condición es aplicable a todas y cada una de las etapas del diseño de tuberías de revestimiento

- **OTRA(S) SUPERFICIAL(ES):** En los casos en que se haya alcanzado la longitud máxima de agujero descubierto, pero la densidad aún no se encuentre en los rangos especificados anteriormente, o la profundidad a la que se llegó no coincida con la profundidad mínima requerida para emplear lodo de emulsión inversa, será necesario contemplar otra u otras etapas superficiales, ya que el objetivo de esta(s) será llegar a la profundidad donde la densidad de la siguiente etapa pueda emplearse. Por lo tanto, la profundidad final será la que coincide con la profundidad mínima para emplear lodo de emulsión inversa.
- **INTERMEDIA:** Esta etapa tiene su inicio en la profundidad mínima necesaria para emplear lodo de emulsión inversa y debe terminar hasta donde la densidad de fractura de esta etapa sea menor que la densidad empleada, ya que su principal objetivo es cubrir la zona de presión anormal, además de permitir bajar la densidad del lodo
- **PRODUCTORA:** Esta última etapa es la que permite llegar al yacimiento y explotar selectivamente los intervalos de hidrocarburos. La finalidad de esta etapa es separar yacimientos de diferente presión de poro o de diferente composición litológica.

	OBJETIVO	PROF. DE ASENTAMIENTO CONVENCIONAL
CONDUCTORA	Aislar acuíferos y tener un medio de circulación del fluido de perforación	Prof <sub>ni</sub> : Afloja Prof <sub>fin</sub> : 50 m
SUPERFICIAL	Ganar gradiente para aumentar densidad de lodo e instalar condiciones superficiales de control	Prof <sub>ni</sub> : Dada en el paso anterior Prof <sub>fin</sub> : Donde se cumpla. Long.máx.aguj.descubierto <=1000m y d_máx <sub>p-1</sub> >= d_usada, >= d_máx <sub>p+1</sub>
OTRA(S) SUPERFICIAL(ES)	Llegar a la profundidad donde la densidad de la siguiente etapa pueda emplearse	Prof <sub>ni</sub> : Dada en el paso anterior Prof <sub>fin</sub> : Coincide con la profundidad mínima para utilizar lodo de Emulsión Inversa
INTERMEDIA	Cubrir la zona de presión anormal y permitir bajar la densidad del lodo	Prof <sub>ni</sub> : Dada en el paso anterior Prof <sub>fin</sub> : Perforar HASTA que dens <sub>fr0</sub> <= dens <sub>usado</sub>
PRODUCTORA	Separar yacimientos de diferente presión de poro o de diferente composición litológica Explotar selectivamente los intervalos de hidrocarburos	Prof <sub>ni</sub> : Dada en el paso anterior Prof <sub>fin</sub> : Perforar HASTA yacimiento

Tabla 3.1: Etapas del diseño de Tuberías de Revestimiento.

---

## DENSIDAD DEL LODO

Para la obtención de las densidades es necesario tomar en cuenta:

- Las presiones que se pueden encontrar para desarrollar un programa de densidades a utilizar y tipo de fluido.
- El empleo de registros geofísicos para calcular presiones de poro y de fractura
- Graficar densidad equivalente contra profundidad.
- Determinar densidades a utilizar
- Determinar si la profundidad de asentamiento de la TR es adecuada.
- Accesar a la tabla de problemas.
- Asignar los cambios posibles de acuerdo a la tabla de problemas
- Dibujar profundidades de asentamiento óptimas junto con su densidad.

## REGLAS PARA DETERMINAR LAS DENSIDADES Y ASENTAMIENTOS ÓPTIMOS

- Acceso a la información almacenada en archivos de las presiones de poro y de fractura, así como de asentamientos de TR's.
- Obtención de la presión de poro máxima y presión de fractura mínima de acuerdo a la profundidad de cada etapa
- Elección del asentamiento que el Ingeniero de Diseño desea modificar. Debe teclear la profundidad propuesta para ver si esta cumple con los requisitos necesarios.
- La base de conocimientos obtiene la densidad ideal para esa etapa de acuerdo a los siguientes criterios

De filisola hacia arriba la calcula de la siguiente manera.

$$d_i = (\text{grad. poro} + \text{grad. Fract.})/2$$

Desde fin de filisola hasta el objetivo:

$$d_i = \text{grad. poro} + \text{fact seguridad}$$

- Como se posee una nueva profundidad de asentamiento se deberán recalcular tanto la presión de poro máxima como la de fractura mínima, se debe obtener la nueva densidad ideal y comprobar que esta sea menor que la presión de fractura de la siguiente etapa. Si se cumple esta condición, se acepta la profundidad de asentamiento propuesta y se procede a dibujar la TR a la profundidad asignada por el Ingeniero de Diseño; si no, avisa al Ingeniero de Diseño que la profundidad

---

---

asignada no cumple las condiciones necesarias para ser un asentamiento y es necesario que lo modifique.

- El usuario puede tener tuberías tipo *liner* en la última etapa intermedia y en la productora ya que se ha aceptado la profundidad de asentamiento.
- Si se poseen las profundidades de asentamiento adecuadas, la Base de Conocimiento accederá a la tabla de problemas (Cuando esta se tenga) de los pozos de correlación para que el Ingeniero de Diseño vea cuales fueron las complicaciones presentadas en los otros pozos y como se resolvieron.
- Se podrá asignar la profundidad solución y densidad solución de la tabla de problemas si el usuario así lo desea y si estas cumplen las reglas de la Base de Conocimiento

Ver las presiones que se pueden encontrar para desarrollar un programa de densidades a utilizar y tipo de fluido.

• Etapas superficial e intermedias:

- Empleo de registros geofísicos para calcular presiones de poro y de fractura.
- Graficación estos parámetros (densidad equivalente contra profundidad).
- Determinación de las densidades a utilizar.
- Determinación de la profundidad de asentamiento de las primeras TR's.

• Etapas que corresponden al yacimiento:

- Análisis de datos históricos de los P.C.
- Análisis de datos de producción
- *Determinación de densidades para últimas etapas.*
- Determinación de profundidades de asentamiento de TR's para las últimas etapas.

DIAGRAMA UTILIZADO PARA DETERMINAR LOS DIÁMETROS IDEALES DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO Y DE BARRENAS.

En el Figura 3.3 se pueden ver los diferentes diámetros de los que se disponen para TR'S y para Barrenas, esto varía dependiendo el diámetro seleccionado previamente, la elección de los diámetros se realiza a partir del diámetro de la última tubería hacia arriba.

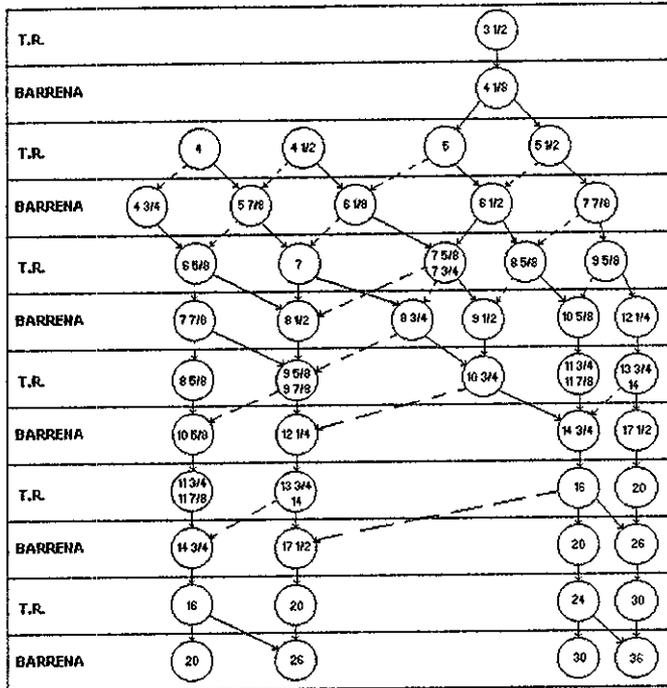


Figura 3.3. Diámetros de barrenas y TR's

Los pasos a seguir por los expertos para el diseño de un pozo son los siguientes.

- Identificación de parámetros de diseño, es decir si el pozo es vertical o direccional, si su objetivo geológico es terciario o mesozoico
- La identificación de los pozos de correlación y la búsqueda de información de cada uno de ellos para el diseño del nuevo pozo.
- Determinar las profundidades de asentamiento y densidades ideales para el pozo.
- La optimización de profundidades de asentamiento para el nuevo pozo
- Determinación de los diámetros para las barrenas de perforación y las tuberías de revestimiento.
- Selección de las barrenas para la perforación por método estadístico o por el programa de barrenas del IMP

---

---

### 3.6. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

#### (MANUAL DEL USUARIO)

Para el desarrollo total del Sistema Experto fue necesario el desarrollo de un prototipo del mismo antes de ser aprobado el diseño que se consideraría como valido, por lo tanto se elaboró un prototipo rápido para ser evaluado por los ingenieros de Pemex y al ser aprobado comenzar con la programación completa del sistema, éste primer prototipo se presenta en el siguiente diagrama de bloques (Figura 3.4).

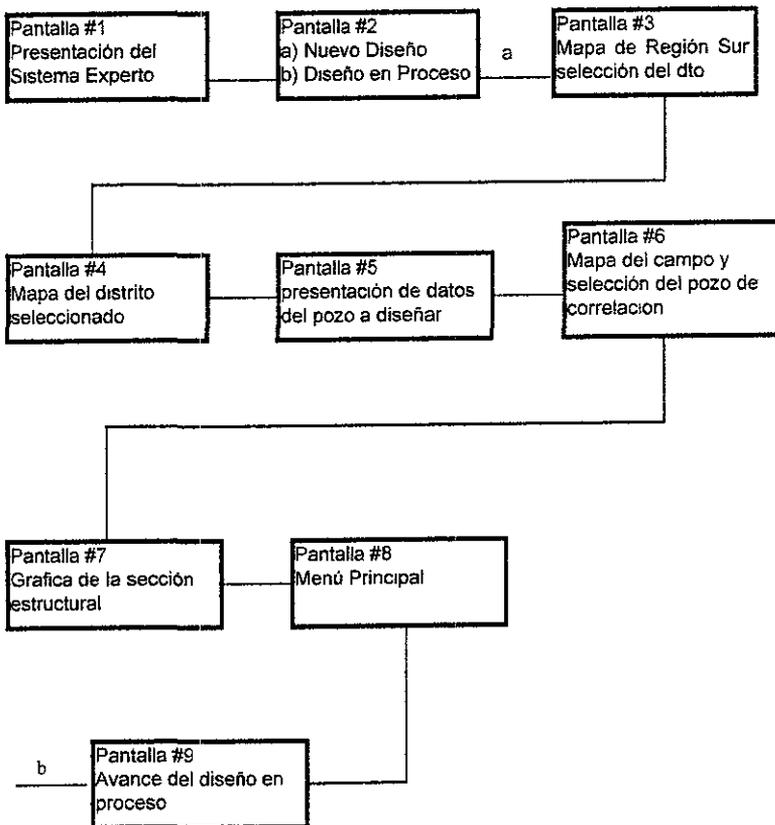


Figura 3.4. Diagrama de bloques del Sistema Experto prototipo

---

**Pantalla #1** Presentación del Sistema Experto

**Pantalla #2** En esta pantalla se presentan 2 opciones:

- 1) Nuevo Diseño - Para cuando deseamos iniciar el diseño de un nuevo pozo
- 2) Diseño en Proceso - Para retomar el diseño de algún pozo que no se haya terminado.

*Si la opción seleccionada fue la primera, se realiza lo siguiente:*

**Pantalla #3** En esta pantalla se carga un mapa de todos los distritos que se encuentran en la Región Sur; en el cual se selecciona el distrito en el que se encuentra el pozo a diseñar.

**Pantalla #4** En esta pantalla se carga un mapa del distrito seleccionado anteriormente y de los campos contenidos en el, se selecciona el campo en el que se encuentra el pozo a diseñar. En esta pantalla también se indica si los datos del pozo en diseño van a ser cargados del SIOP o si el usuario va a introducirlos, si se da la primera opción se pedirá al usuario el número del pozo y busca si es que existen sus datos en el SIOP, si no lo indica y pasa a la pantalla #5; si se da la segunda opción pasa de inmediato a la pantalla #5

**Pantalla #5** En esta pantalla se presentan los datos de las diferentes capas a perforar y sus profundidades, sus coordenadas de localización, su profundidad total, diámetro de la última TR y su nombre; si de la pantalla #4 se selecciona la primera opción los campos aparecen con los datos del pozo si es que se encuentra, si se da la segunda opción el usuario llenara los campos necesarios y se almacenaran los datos en las tablas PROGEOLO, COLGEO Y PROAPOZO.

**Pantalla #6** En esta pantalla se presenta un mapa del campo con todos los pozos que se tienen, se pide el número de pozos de correlación a utilizar, después el orden en que se seleccionan los pozos es en el cual van a aparecer en la sección estructural, cada que se selecciona un pozo se pide su número, y se traza una línea al siguiente pozo; se tiene la opción de verificar si los pozos seleccionados son los correctos o no. Si los datos son correctos se almacenaran

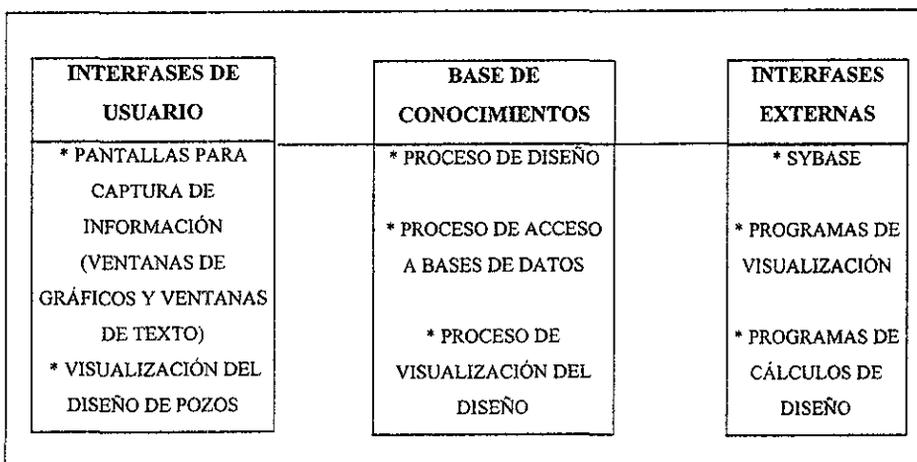
**Pantalla #7** Se presenta una gráfica con la sección estructural de los pozos de correlación y el de diseño

**Pantalla #8** Se presenta un menú en donde se obtienen las Densidades, los Lodos y las profundidades de Asentamientos de las TR's para la perforación del pozo En esta parte es donde

entrarán en función las diferentes Bases de Conocimientos y los programas de ingeniería que se integrarán al Sistema Experto.

**Pantalla #9** Si la opción seleccionada de la **pantalla #2** es la de Diseño en Proceso, el programa nos presentará en otra pantalla cuales son las etapas del diseño que ya se han obtenido y de la ultima retorna el diseño y se abre la pantalla del menú principal para continuar con las partes que faltan del diseño del pozo.

En la Figura 3.5 se presenta el diagrama del Sistema Experto con todas las partes de las que va a constar para su funcionamiento.



**Figura 3.5.** Diagrama de conformación de SEDIPP.

### 3.6.1 Programación de las Pantallas

Una vez que se aprobó el prototipo rápido del Sistema Experto se prosiguió con la programación total del sistema, a continuación se describen las pantallas de las que consta el sistema así como parte de la programación que se desarrollo para el mismo

#### *Pantalla Principal*

En esta pantalla se hace una presentación del Sistema Experto, así como un botón que nos permite pasar a la pantalla siguiente. (Figura 3.6)

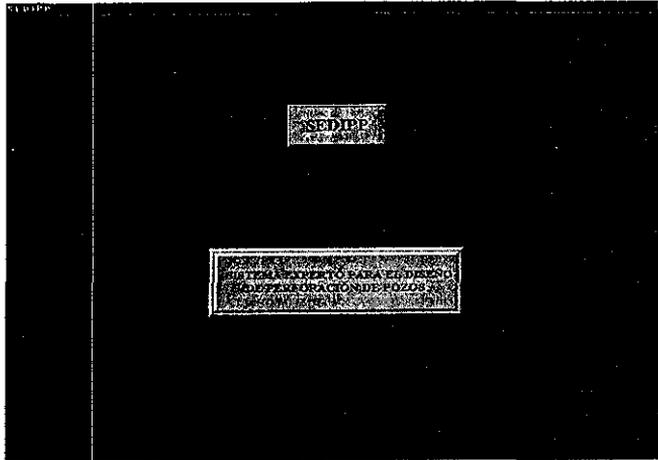


Figura 3.6. Pantalla principal

### *Pantalla de Tipo de Diseño*

En esta pantalla SEDIPP nos permite seleccionar si queremos un Diseño Nuevo o un Diseño en Proceso, si se elige la opción de Diseño Nuevo se presenta la Figura 3.8, si se seleccionó la opción de Diseño en Proceso se presenta la 3.14, para seleccionar alguna de las dos se presentan dos botones, al oprimir el botón de la opción deseada se verá la pantalla siguiente (Ver Figura 3.7).

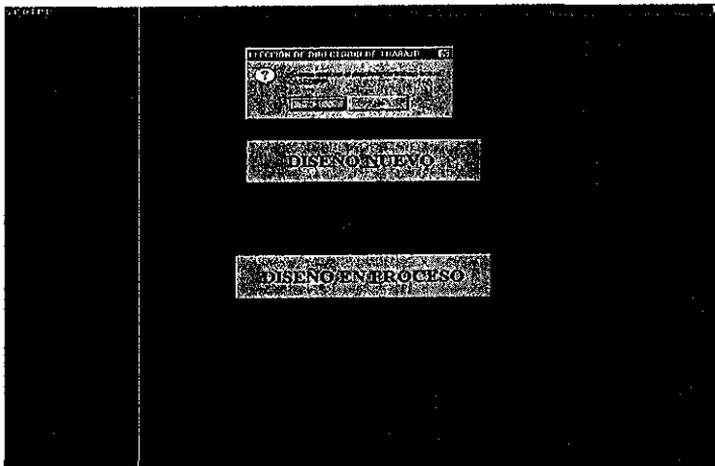


Figura 3.7. Tipo de Diseño.

---

Si la opción seleccionada en esta pantalla es la de Diseño Nuevo el sistema nos preguntará si deseamos cambiar el directorio de trabajo del sistema, es decir en donde vamos a guardar los archivos que vamos a generar durante la etapa del diseño del pozo, si seleccionamos que si se desea cambiar, nos muestra una ventana donde nos presenta un árbol de directorios de la unidad de disco seleccionada, de éste se selecciona el directorio en el cual deseamos trabajar y presionamos el botón aceptar.

### ***Pantalla del Mapa de la Región Sur.***

En esta pantalla se nos presenta un mapa de la región sur, de éste se va a seleccionar el distrito en el cual se encuentra el pozo que se va a diseñar, esto se realiza presionando el botón izquierdo del ratón sobre el distrito deseado. En esta pantalla también disponemos de un menú en el cual tenemos las opciones de regresar a la pantalla anterior, salir o abrir la ayuda del sistema.

En este mapa se puede seleccionar sólo los distritos de Cárdenas, Comalcalco y Reforma (Figura 3.8)

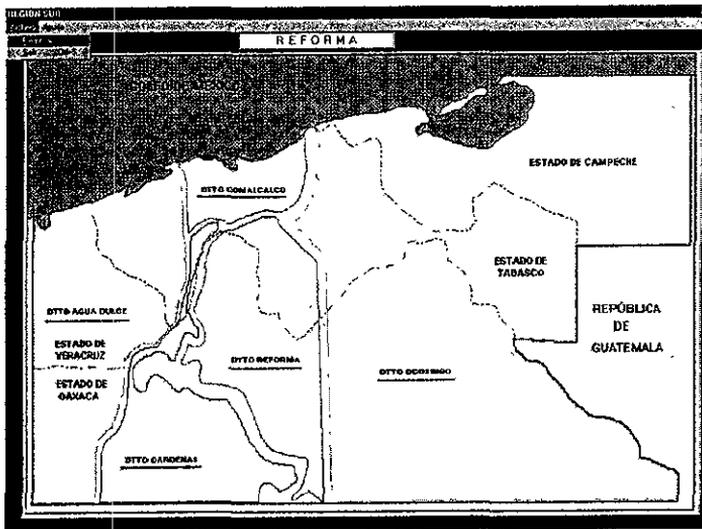


Figura 3.8. Mapa de la Región Sur.

### *Pantalla Mapa del Distrito seleccionado*

En esta pantalla se nos presenta un mapa pero ahora del distrito seleccionado en la Figura 3.7, en este mapa se presentan todos los campos que se encuentran en el distrito seleccionado; esto con la finalidad de seleccionar el campo en el cual se encuentra el pozo que se va a diseñar, esto se realiza presionando el botón izquierdo del ratón sobre el campo que se desea, una vez realizado nos presentará un cuadro de diálogo en donde se nos pregunta si los datos del pozo van a ser tecleados por el usuario o si van a ser cargados directamente de la base de datos del SIOP, si se decide que van a ser cargados de la base se nos pregunta el número del pozo a diseñar y se prosigue a buscar la información correspondiente, si se encuentra información se pasa a la Figura 3.10, si no, se nos indica que no hay datos y al igual que si se eligió la opción de cargar desde el teclado se presenta la Figura 3.10 sin datos y hay que escribirlos. En esta pantalla también se tiene la posibilidad de regresar a la pantalla anterior (Ver Figura 3.9).

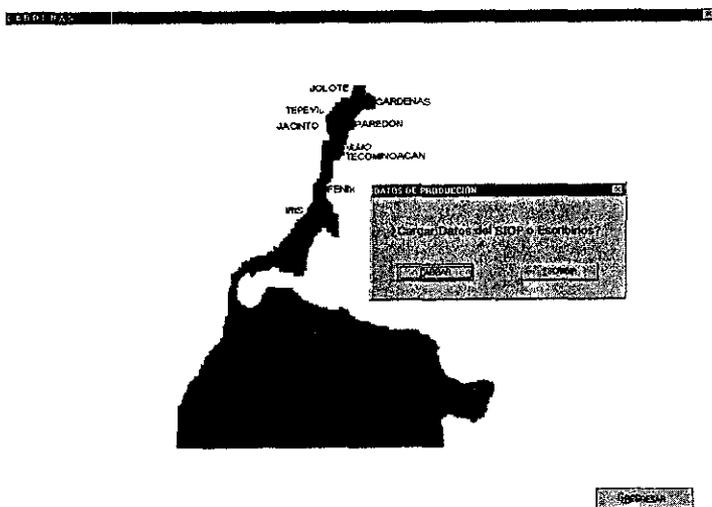


Figura 3.9. Mapa del Distrito seleccionado.

---

### ***Pantalla Datos del Pozo a Perforar***

Esta pantalla se presenta de cualquiera de las dos formas descritas en la pantalla Mapa de Distrito; si se eligió cargar datos del SIOP se mostrará toda la información disponible del pozo especificado; en el caso de que se especifique el pozo pero no se encuentran datos se presenta la pantalla pero sin información, por lo cual se debe de proseguir a introducir todos los datos que se solicitan

Los datos de profundidades deben de ser capturados en metros ya que más adelante la información que se va analizando está en metros y si se captura en cualquier otra unidad de medida los datos obtenidos durante el diseño van a ser incoherentes con respecto a lo que se espera.

En la parte central de la pantalla se presenta la información correspondiente a la columna geológica del pozo, esta parte cuando se capturan los datos desde el teclado no está habilitada, por lo tanto para seleccionar las capas geológicas del pozo va a ser necesario ir capturando, para esto primero se selecciona de las cajas que se encuentran en la parte izquierda de esta área para después seleccionar de la lista que se encuentra en la parte derecha de la pantalla la capa necesaria, una vez que seleccionadas todas las capas se presiona el botón Capturar Profundidad y en la parte derecha de los nombres se van ir habilitando las cajas en donde tenemos que especificar las profundidades de cada capa.

En la parte inferior derecha se presentan 3 botones, el primero es el de Capturar Datos este botón se habilita cuando se cargaron los datos del pozo por medio del teclado, estos datos son guardados en el SIOP así como en un archivo que es utilizado más adelante, el botón de Regresar nos permite ir a la Figura 3.9 y el botón Continuar nos presentará la Figura 3.11, al presionar el botón continuar nos aparece un mensaje en el cual se nos presenta información que se define a partir de los datos presentados en la pantalla, estos datos son Objetivo Geológico, Geometría del Pozo y Capa Geológica Final (Ver Figura 3.10)

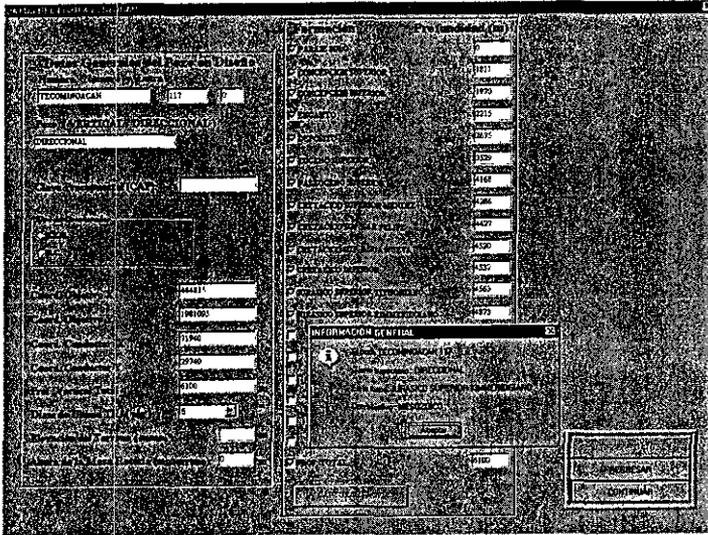


Figura 3.10. Ingreso de los datos del pozo a perforar.

### *Pantalla del Mapa del Campo elegido*

En esta pantalla se presenta el mapa del campo que se seleccionó en la Figura 3.9, en este mapa se presentan todos los pozos que existen en el campo. Esto nos servirá para seleccionar los pozos de correlación que se van a utilizar durante las etapas del diseño. Al seleccionar los pozos de correlación hay que tomar en cuenta que también se debe de seleccionar el pozo que se está diseñando, esto con el objetivo de que al presentar la gráfica de la sección estructural se presenten tanto los pozos de correlación como el de diseño (Ver Figura 3.11).

Para seleccionar los pozos primero se debe de especificar el número de pozos de correlación que se desean analizar para el diseño del pozo, esto se indica en el cuadro correspondiente de la pantalla, una vez que se especifica el número de pozos se presiona la tecla Enter, entonces se habilitarán las opciones de Elegir en el plano.

Si se decide Elegir en el plano, se puede seleccionar de dos formas, en el menú de la pantalla en Opciones se tiene esta posibilidad o en el botón respectivo, después se debe de seleccionar con el botón izquierdo del ratón el pozo que se desea también se debe de seleccionar

el pozo que se está diseñando, una vez que se elige en la parte superior derecha aparece un cuadro de captura en el que se debe de teclear el número del pozo y se presiona la tecla Enter; éste proceso se debe de repetir para el número de pozos de correlación como para el de diseño (Ver Figura 3.12)

Es importante tomar en cuenta que el orden en que seleccionan los pozos de correlación así como el de diseño es el que se va a mostrar para la sección estructural.

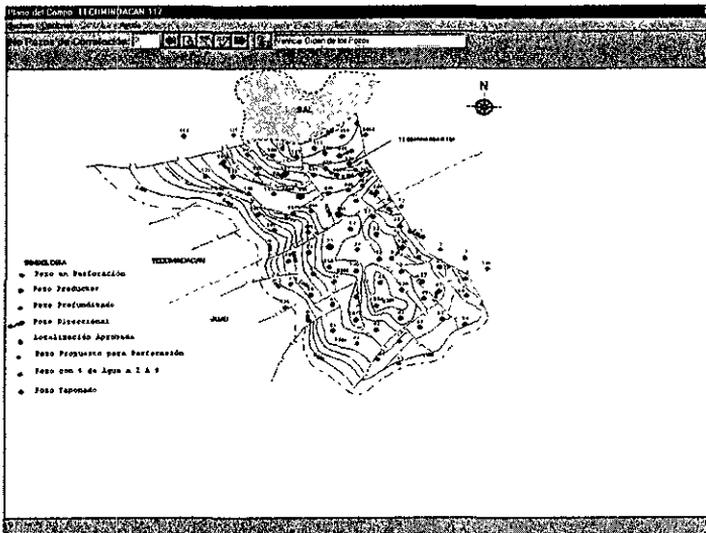


Figura 3.11. Campo elegido.

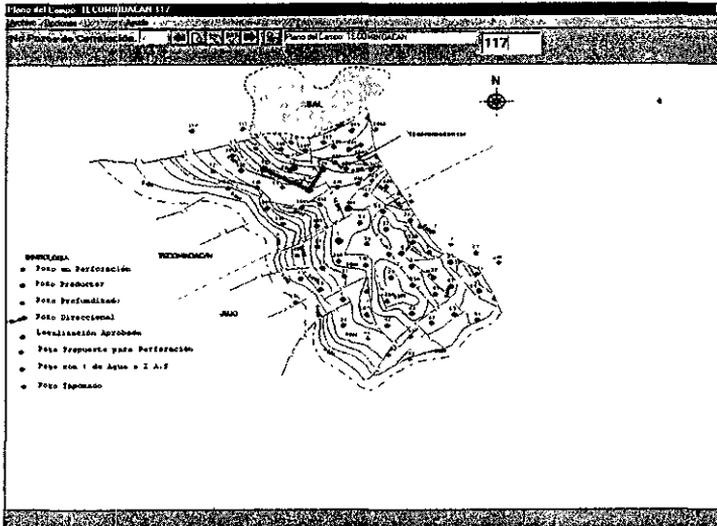


Figura 3.12. Selección de los pozos de correlación

Una vez que se seleccionan los pozos de correlación, para poder continuar es necesario, primero verificar si el orden de selección es el correcto esto se presenta seleccionando del menú en Opciones Verificar o en el botón correspondiente, una vez seleccionado aparecerá un mensaje en donde se nos presenta el orden de elección y la posibilidad de aceptar o no (Ver Figura 3.5), si se elige que si entonces se selecciona continuar ya se han el menú o en el botón correspondiente, sino se vuelve a elegir el número de pozos y se siguen los pasos descritos anteriormente.

Si no se encuentran datos necesarios de cualquiera de los pozos elegidos se nos indicará y si los datos que se encontraron no son suficientes no es posible continuar, los datos son buscados en la base de datos del SIOP. Si no se presenta ningún problema al continuar se presenta la Figura 3.13

### ***Pantalla Sección Estructural***

En esta pantalla se presenta la información correspondiente de los pozos de correlación seleccionados así como el de diseño, se indica cuales son los pozos de correlación y cual el de diseño, también se indica en la parte superior de cada pozo su nombre y número En esta pantalla se tiene la posibilidad de guardar en el portapapeles la gráfica presentada (Figura 3.13), también se

puede regresar a la pantalla anterior o continuar el diseño, si se desea continuar aparecerá la Figura 3.14.

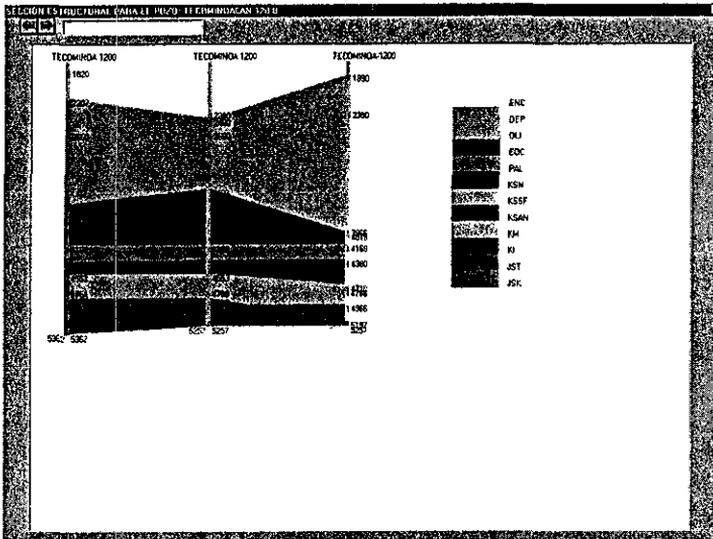


Figura 3.13. Sección Estructural de los pozos de correlación seleccionados incluyendo el pozo en diseño.

### *Pantalla Menú Principal.*

A esta pantalla se puede llegar ya sea por Diseño Nuevo o por Diseño en Proceso, esta pantalla consta de varios menús, a continuación se describen en forma general y después se profundizará más en cada uno de ellos (Ver Figura 3.14)

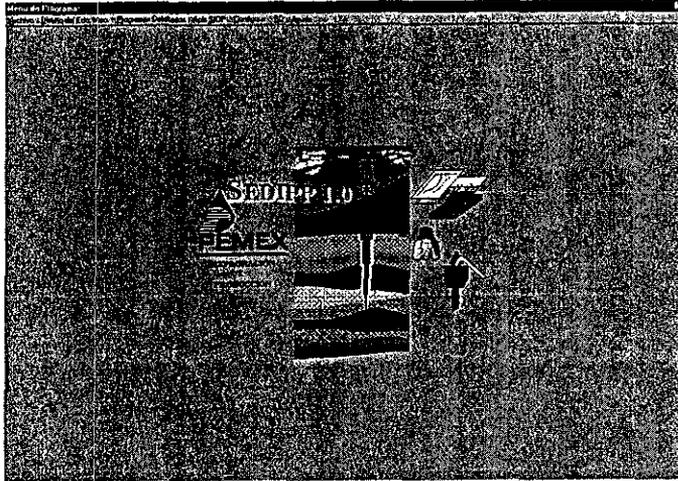


Figura 3.14. Menú Principal de SEDIPP.

### *Menú Archivo*

En éste menú (Figura 3.15) tenemos las opciones de Regresar a la pantalla anterior y Salir del programa, si se elige salir se genera un archivo en donde se guardan los avances del diseño que se llevan hasta ese momento

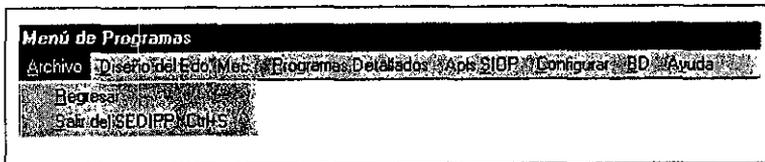


Figura 3.15. Contenido del Menú Archivo.

### *Menú Diseño del Estado Mecánico*

Éste menú nos presenta las opciones Asentamiento de TR's y Densidades y además la Gráfica del estado mecánico del pozo (Ver figura 3.16).

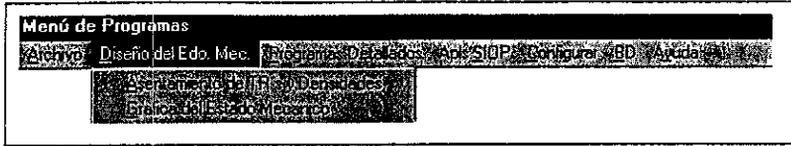


Figura 3.16. Contenido del Menú Diseño del Estado Mecánico

### *Menú Programas Detallados*

En éste menú tenemos todos las opciones que podemos generar en cuanto a programas detallados del diseño del pozo, éstos pueden ser Diámetros de Barrenas y Tuberías de Revestimiento, Selección de Barrenas, Programa Direccional, Fluidos, Tuberías de Revestimiento, Cementación, Hidráulica, Registros, Problemas y Gráfica de Profundidad contra Dias (Ver Figura 3 17)

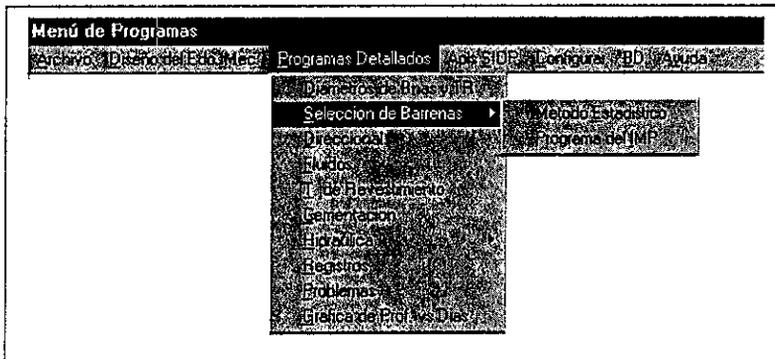
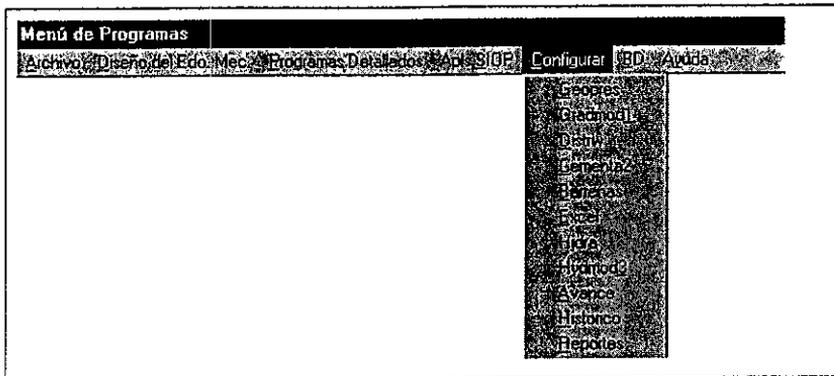


Figura 3.17. Contenido del Menú de Programas Detallados

### *Menú Configurar*

Éste menú es importante ya que en éste se especifica la ruta en donde se encuentra cada uno de los programas externos que se utilizan en el sistema, si no se especifica correctamente el programa correspondiente, el sistema nos indicara que no existe el archivo (Ver Figura 3 18).



**Figura 3.18.** Contenido del Menú Configurar.

### ***Menú BD***

Esta opción es para configurar el enlace con la base de datos SIOP, esto se realiza a través de ODBC, esta opción sólo se puede cambiar si se dispone de la clave necesaria para realizarlo.

### ***Pantalla para Determinar Asentamientos de TR'S***

Esta pantalla aparece al seleccionar de la barra de menús, la opción Diseño del Estado Mecánico y posteriormente seleccionando Asentamientos de TR'S. Esta pantalla se presentan los pasos a seguir para obtener los asentamientos de TR'S óptimos para el diseño del pozo, estas opciones son datos para mesozoico, terciario (Geopres), captura de gradientes, Gradmode y continuar (Ver Figura 3.19).

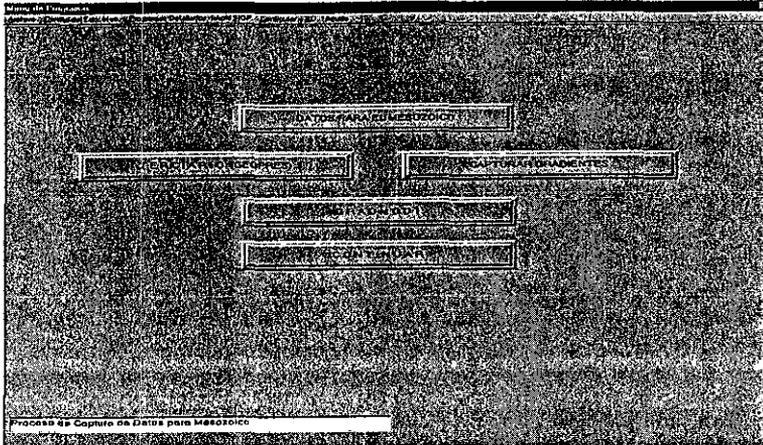


Figura 3.19. Asentamientos de TR's.

### *Pantalla Datos para Mesozoico*

En pantalla tenemos la parte en donde se teclean los datos de profundidad, gradiente de presión y gradiente de fractura, en la parte inferior se dispone de un botón con el cual podemos elegir el ver los problemas presentados durante la perforación del pozo que se ha seleccionado en la parte superior, si existen tales problemas aparece una ventana en donde se detalla en problema encontrado y a que profundidades así como su solución, si no hubo problemas aparece un mensaje indicando. Una vez que se ha terminado de capturar la información se presiona la tecla continuar y nos regresara a la ventana de menú principal (Ver Figura 3.20).

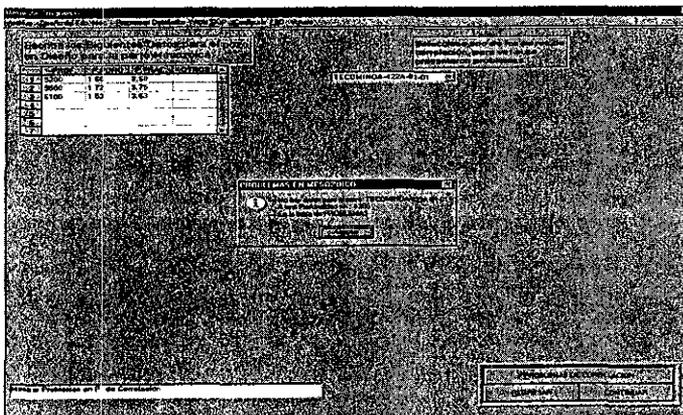


Figura 3.20. Pantalla de llenado de os datos para pozos con objetivo geológico Mesozoico.

### ***Pantalla Captura de Gradientes.***

En esta pantalla se capturan los datos de profundidad, gradiente de fractura, y gradiente de presión necesarios para obtener las densidades en el programa GRADMODE, en esta pantalla tenemos botones en la parte superior con los cuales podemos regresar a la pantalla anterior, cargar datos ya existentes, guardar en un archivo, limpiar la hoja de captura o continuar. (Ver Figura 3.20)

Profundidad (m)	Gradiente de Fractura (m/m)	Gradiente de Presión (m/m)	Densidad (kg/m³)
1000	1.07	1.86	
1075	1.05	1.85	
1150	1.03	1.83	
1225	1.12	1.72	
1300	1.04	1.74	
1375	1.21	1.70	
1450	1.07	1.71	
1525	1.13	1.75	
1600	1.2	1.84	
1675	1.14	1.71	
1750	1.11	1.86	
1725	1.17	1.82	
1800	1.05	1.86	
1875	1.07	1.80	
1950	1.07	1.82	
2000	1.09	1.86	
2075	1.07	1.86	
2150	1.07	1.86	
2225	1.07	1.86	
2300	1.07	1.86	
2375	1.07	1.86	
2450	1.07	1.86	
2525	1.07	1.86	
2600	1.07	1.86	
2675	1.07	1.86	
2750	1.07	1.86	
2825	1.07	1.86	
2900	1.07	1.86	
2975	1.07	1.86	
3050	1.07	1.86	

**Figura 3.21.** Pantalla de captura de datos de entrada a Gradmode.

### ***Pantalla Diámetros de Barrenas y TR'S***

En esta ventana se seleccionan los diámetros de las tuberías de revestimiento y de las barrenas de perforación, esta se realiza seleccionando a partir del diámetro de la ultima TR en cada una de las opciones en donde sea posible ir seleccionando esto ya que en donde sea posible elegir entre varias dimensiones se encontrara activa la lista y en donde no se encuentre activa aparecerá el único valor disponible para dicha etapa. Una vez que se eligieron todas las dimensiones aparece un mensaje de confirmación e valores y posterior mente presionando el botón Ok. Posteriormente el botón Continuar se activara para poder observar el diseño de los diámetros seleccionado. (Ver Figura 3.22)

Para la obtención de dichos diámetros se utiliza una base de conocimientos la cual dará como resultado los valores óptimos para tomar en el diseño del pozo. Esto nos dará varios diseños de barrenas a partir de nuestros pozos de correlación, una vez que tenemos los diferentes diseños y ya que se eligió el mejor la información se mandara a una hoja de Excel, los datos que se envían son la etapa, la profundidad y los diámetros.

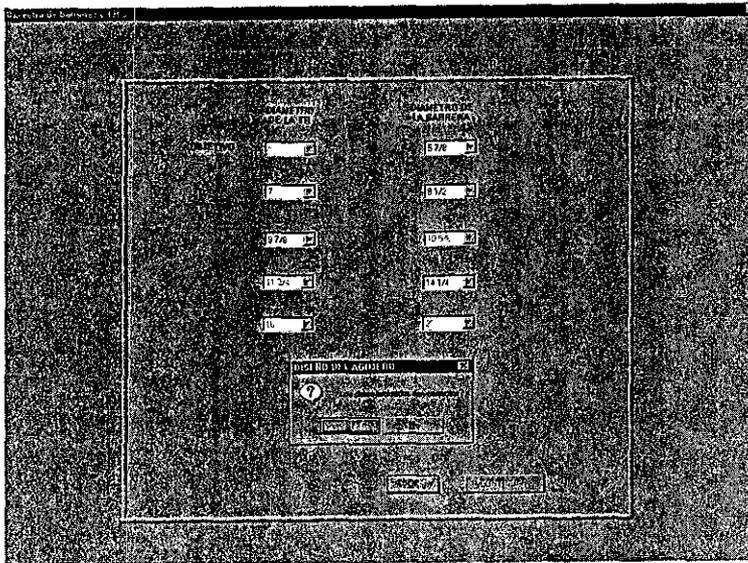


Figura 3.22. diámetros de barrenas y TR's.

### *Pantalla Gráfica Diámetros de TR'S y Barrenas*

En esta ventana se visualizan los diferentes diseños de diámetros que elegimos, esto se logra presionando el botón superior que contiene una gráfica, en ese momento aparecerán los diseños que especificamos en la pantalla anterior, en los botones de arriba también podemos regresar a la pantalla previa, continuar, guardar en el portapapeles, elegir el diseño deseado y continuar, cuando elegimos el botón para seleccionar cualquiera de los diseños mostrados aparece un cuadro preguntando cuál es el diseño que deseamos sea utilizado y presionamos el botón

Aceptar. Una vez que se ha elegido el diseño óptimo presionamos el botón continuar y volveremos a la pantalla de menú principal. (Ver Figura 3.23)

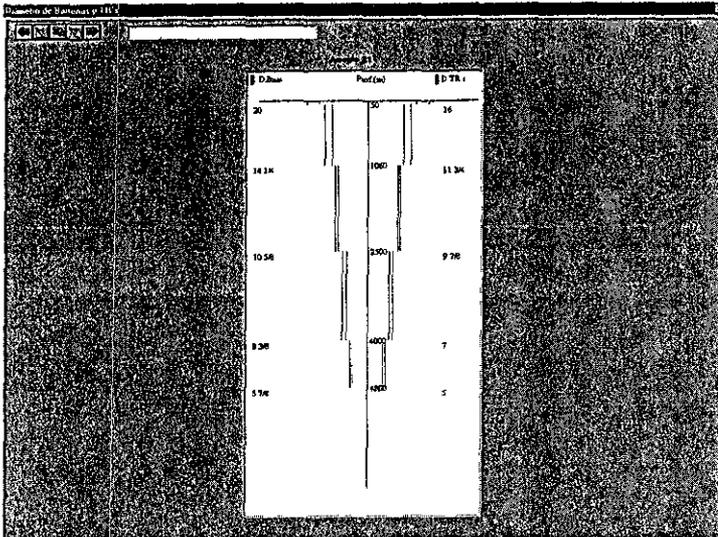


Figura 3.23. Representación gráfica de los diámetros de barrenas y TR's

### ***Pantalla Selección de Barrenas (Método Estadístico)***

En esta ventana se seleccionan por etapa cual es la barrena que se utilizara para la perforación del pozo, en los botones de arriba tenemos la opción de elegir la etapa de la cual deseamos seleccionar sus barrenas, posteriormente se muestra una gráfica de las barrenas de metros perforados contra tiempo, una vez que se tiene la gráfica para elegir una barrena solo se presiona con el botón izquierdo del ratón en la línea y a la profundidad y del pozo que se desea y automáticamente se agrega a una lista de barrenas para esta etapa, para poder ver la lista se presiona el botón ver lista y aparecerá en la parte superior una ventana con toda la información correspondiente a cada una de las barrenas elegidas, en dicha ventana tenemos la opción de grabar la información, este proceso se realiza para cada una de las etapas del diseño. La información que se presenta en la pantalla, es obtenida de la base de datos del SIOP y de la cual se extraen los registros promedio de penetración de la barrenas para pozos reales. (Ver Figura 3.24).



### ***Pantalla Verificar Información de Fluidos***

En esta ventana se pueden observar ya juntos todos los datos que se capturaron previamente, en esta pantalla se dispone de poder imprimir los datos o de guardarlos en un archivo para ser impresos *posteriormente*. La operación captura de fluidos tendrá que ser repetida para cada una de las etapas del diseño.

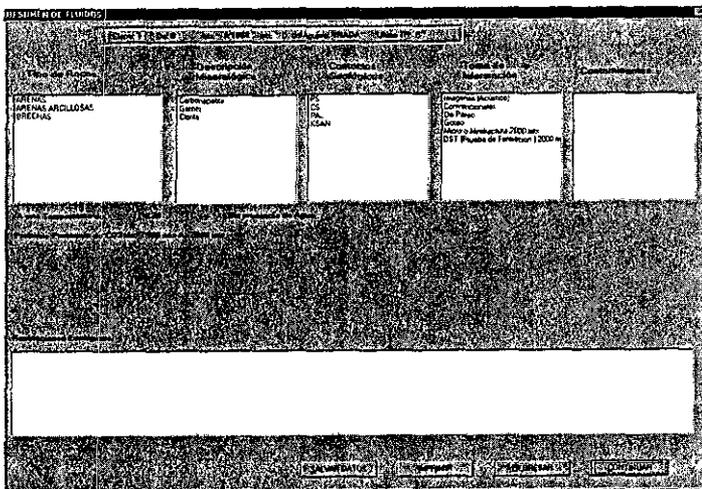


Figura 3.26. Verificación de información de fluidos

### ***Pantalla Captura de Registros***

En esta ventana se capturan los datos correspondientes a los registros a ser tomados durante la perforación del pozo.

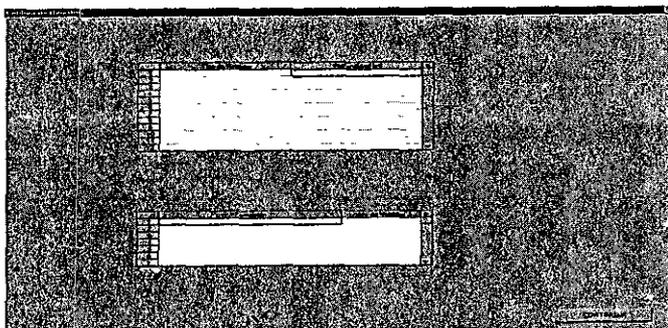


Figura 3.27. Registros a tomarse durante la perforación del pozo.

## Pantalla Gráfica Días contra Profundidad

En esta ventana se presenta la gráfica de los días de perforación del pozo y la profundidad, se dispone de la posibilidad de altera los datos presionando el botón Datos, también es posible imprimir la gráfica, guardar en el portapapeles, presentar la gráfica o limpiarla. En la parte superior derecha tenemos los datos correspondientes a etapa, diámetros y metros de profundidad de cada etapa.

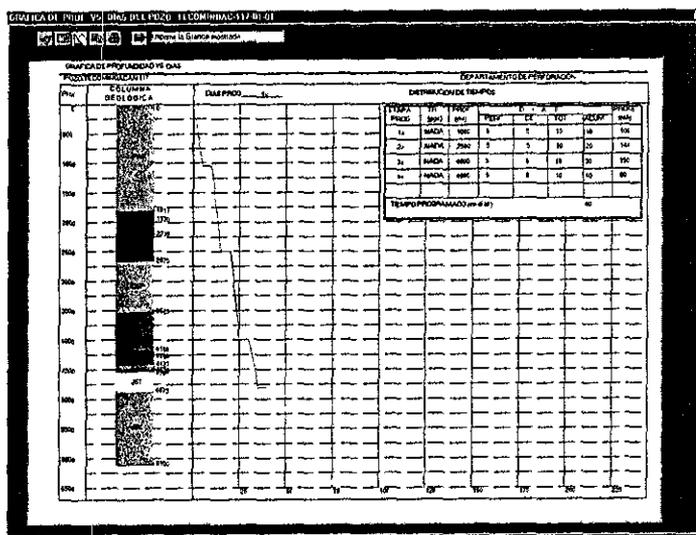


Figura 3.28. Gráfica de Días de Perforación Vs Profundidad.

## **IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS**

---

---

## 4.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

La primera implementación del SEDIPP se realizó en las oficinas administrativas de Exploración - Producción de las instalaciones de Pemex en Villahermosa, Tabasco, en donde se llevaron a cabo las primeras pruebas de conexión con la base de datos del SIOP en Sybase.

Una vez probada la conexión con buenos resultados, se procedió a su instalación en los diferentes Distritos para los que se había planeado usar el sistema que son: Cárdenas, Comalcalco y Reforma obteniendo en cada uno de ellos los mismos resultados.

Un aspecto importante en la implementación es que en Pemex se manejan diferentes programas relacionados con la ingeniería petrolera, por lo que se debió tener especial cuidado en no desconfigurar aplicaciones que tienen conexión con diferentes tipos de bases de datos y con el mismo SIOP, al momento de instalar el SEDIPP.

Para la instalación del SEDIPP se generaron tres juegos de discos. El primero para la instalación del sistema en sí en los servidores; el segundo para la instalación de las librerías requeridas por el sistema en las máquinas de los usuarios, es decir, DLL's y VBX's; el tercer juego es para la configuración del ODBC, también en las máquinas de los usuarios.

Una vez realizada la instalación en las oficinas administrativas de Exploración - Producción en Villahermosa, Tabasco, se mostró a los usuarios como realizar dicha instalación, aún cuando las restantes instalaciones también serían realizadas por nosotros. Esto a petición de los mismos usuarios que deseaban conocer como realizar la instalación por ellos mismos.

---

---

## 4.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Hasta el momento, como el sistema se encuentra en una etapa de prueba, la conexión que se hace con la base de datos se realiza hacia una copia del "SIOP", que contiene los mismos datos que el original más los que se generen por las pruebas que realicen los ingenieros de diseño

Como un primer resultado del SEDIPP se encuentra el que al hacer uso de él, cuando se tengan los datos generales de un pozo nuevo como ubicación, profundidad o la columna geológica ya se puede grabar esta información en la base de datos para posteriores consultas (ya sea por los ingenieros de diseño o por otras personas en áreas diferentes). Este punto aunque pueda parecer irrelevante es de gran importancia, ya que hasta el momento aún cuando un pozo ya se encuentre produciendo es probable que no se tenga información almacenada en la base de datos, por lo que *para utilizar dicho pozo como uno de correlación para otro proyecto, se debe realizar una investigación "manual", desperdiciando recursos tan importantes como el tiempo mismo de los ingenieros.*

Otro aspecto importante es el poco tiempo que se requiere en la obtención de ciertos datos de los pozos correlacionados, proceso que anteriormente se debía realizar de forma manual.

Además en SEDIPP se tiene un producto amigable para el usuario que muestra información actualizada y de forma agradable y fácil de entender

Al hacer uso del sistema, los ingenieros se han dado cuenta que es posible reducir su carga de trabajo, en cuanto a la búsqueda de información se refiere. Por esta razón se ha pensado en una segunda versión en la cual se tenga más conocimiento experto de los ingenieros, en áreas como el diseño de sargas, por ejemplo.

Como resultado del uso del SEDIPP ha sido notoria la falta de consistencia en la información que ya se tiene en la base de datos. Inconsistencia que se refleja en la falta de datos o datos incorrectos o mal capturados. Razón por la cual se ha visto que es necesario cambiar la forma en que se está llevando el proceso de captura de información, es decir, que ya no se introduzcan datos a criterio del capturista, sino que se guarden los datos reales de la operación, además de hacerlo a tiempo para poder darles un uso mayor dentro de la ingeniería y no que solo se utilice para hacer informes administrativos

## **CONCLUSIONES**

---

## CONCLUSIONES

### a) Calidad

Al realizar este Sistema Experto para el Diseño de Perforación de Pozos se consiguió una integración de criterios de los ingenieros en perforación de tres distritos de la región sur de Pemex, y aunque existen varios procedimientos para llevar a cabo el diseño de un pozo, es preferible que se tomen las mismas consideraciones en ellos. Además, fue posible integrar algunos programas que se empleaban sólo en algunos de los mismos lo que implica un uso eficiente de aplicaciones que se habían adquirido anteriormente.

En cada uno de los Distritos, es necesario entregar un informe por escrito del diseño realizado. Anteriormente cada distrito presentaba su informe con los datos que consideraba relevantes, pero no siempre se presentaba la misma información en todos los distritos. Con SEDIPP es también posible obtener la información referente al diseño por escrito logrando una presentación de los informes estandarizada para Pemex Región Sur.

### b) Disminución de tiempos y costos

Es importante recalcar que la información obtenida del diseño de un pozo petrolero anteriormente se guardaba en libros y cada vez que se requería diseñar un nuevo pozo, era necesario consultar varios de los mismos, lo que implicaba una inversión de tiempo. Aunque ya se contaba con la estructura de la base de datos, no se tenía capturada toda la información referente a los pozos perforados, ya que a los ingenieros no les brindaba gran ventaja el tener los datos almacenados, pero debido a SEDIPP, el tener la información de cada pozo capturada en la base de datos implica la gran ventaja de poder emplearlos en el Sistema Experto y con ello lograr una notoria disminución de tiempo de diseño, ya que anteriormente se empleaban meses para poder realizar un diseño, mientras que al utilizar el Sistema Experto, se logró que un pozo se diseñara en un tiempo menor.

La carga de trabajo de los expertos en la rama se pudo ver disminuida, ya que con SEDIPP es posible que otros ingenieros continúen diseñando pozos mientras los expertos en perforación en el ramo no están presentes, pues es muy común el que tengan que realizar actividades en el lugar donde otros pozos están perforándose, gracias a esto, es posible disminuir los tiempos de diseño.

---

El obtener tiempos de diseño menores, brinda como consecuencia una disminución de costos, ya que tiempo es dinero. Además, si es necesario realizar algún cambio, éste se puede llevar a cabo en SEDIPP y ya que se tengan los resultados deseados, se manda a imprimir, lo que implica disminución de consumo de papel

c) Empleo de tecnología de punta

Al implementar SEDIPP se pudieron observar las ventajas del empleo de sistemas expertos, como es la integración de programas externos, bases de datos, hojas de cálculo, etc. Además fue posible aprovechar la experiencia obtenida durante varios años por los expertos en la perforación y diseño de pozos petroleros y se comprobará que ésta puede ser transferida a los demás ingenieros.

c) Confiabilidad de los datos

La confiabilidad de la información almacenada aumenta, ya que se puede realizar una validación de los datos a insertar, como el obligar a introducir al usuario final un dato que se sabe es fundamental para el diseño. Además, una base de datos nos brinda seguridad en el acceso y la posible actualización de la información. Anteriormente era posible que la información se encontrara en forma desordenada, o fuera ilegible o que, al no tener un estándar de impresión de la misma, faltara en alguno de los programas detallados algún dato para tomar la información como real y que ésta pudiese ser considerada para el diseño, al tener almacenada la información en la base de datos, terminamos con este tipo de problemas.

d) Interfaz del sistema con el usuario

Se cumplió también con la característica de hacer un sistema amigable a los usuarios, debido a que está en un ambiente gráfico y como se sabe, estos ambientes son muy sencillos de operar; esto implica una gran ventaja, ya que los usuarios finales les es más agradable trabajar en un ambiente donde se empleen ventanas, iconos, gráficos, etc

e) Integración de conocimientos de las diferentes áreas involucradas

En cuanto al trabajo en equipo se notó que esto enriquece la visión de cualquier proyecto, porque permite ampliarlo desde diversos ángulos, ya que cada elemento del equipo puede aportar

---

ideas y plantear soluciones de acuerdo a la propia experiencia. Equipo implica tanto ingenieros del conocimiento, como ingenieros expertos en el diseño y perforación de pozos petroleros.

f) Capacitación

Una parte fundamental para asegurar la aceptación de un sistema como este es la capacitación que se brinde del mismo, ya que los usuarios finales opondrán menos resistencia al cambio si éste les brinda una solución a sus problemas y comprueban que es más fácil trabajar con SEDIPP. Se brindó un curso rápido a los usuarios finales indicándoles la manera de trabajar con el Sistema Experto, aunque a lo largo del desarrollo del proyecto ya se había realizado parte de la capacitación en el mismo, ya que fue necesario que los ingenieros de diseño trabajaran con el prototipo para poder validar los resultados obtenidos. Además se hizo un manual donde se presentan ejemplos prácticos mostrando las ventanas de SEDIPP y la manera de trabajar con ellas, los usos más comunes, entre otras cosas

Es de hacer notar que los usuarios finales quedaron satisfechos con los resultados arrojados por SEDIPP, ya que se realizaron pruebas posteriores a la instalación del mismo, proporcionando datos reales y obteniendo diseños factibles de implementarse.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Nebendhal, Dieter, "Sistemas Expertos: Tomos 1 y 2", Marcombo, España, 1991.
- (2) Galán López, Ramón, "Introducción a los Sistemas Expertos", Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, España, 1990.
- (3) Kemper, Nicolás, "Sistemas Expertos", UNAM, México, 1996
- (4) Patrick, Henry, "Artificial Intelligence", 3<sup>rd</sup> edition, Addison Wesley, USA, 1992.
- (5) Stuart, Rusell, "Artificial Intelligence, a Modern Approach", Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- (6) Turban, Efraim, "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence", Macmillan Publishing Company, New York, 1992
- (7) Turban, Efraim, "Decision Support and Expert System: Management Support Systems", Macmillan Publishing Company, New York, 1992.
- (8) Bourgoyne, Adam, "Applied Drilling Engineering", SPE (Society of Petroleum Engineers), USA, 1990.

## **APÉNDICE**

---

## APÉNDICE

En esta parte se presenta código del sistema referente a:

- Forma en como se hace la conexión con la base de datos SIOP (en Sybase). Esta conexión puede ser tanto para la obtención de datos como para almacenar los que se generan durante el proceso de diseño
- Forma en que se encuentran estructuradas las reglas para la selección de diámetros de barrenas, así como los asentamientos de las tuberías de revestimiento, con base en las densidades de fractura.

Rutina para obtener datos de la tabla DIAGEOLO. En esta tabla se encuentran almacenados los datos históricos referentes a la columna geológica de los pozos de correlación, los cuales se ocuparán para determinar la sección estructural para el pozo en diseño

### Public Sub DATOS\_DIAGEOLO(ID\_PROYECTO As String)

Dim RS As Recordset

Dim consulta As String

Dim NUM\_REGISTROS

On Error GoTo ma\_error

CONECTA = "ODBC;DATABASE=" & Trim(base) & ";UID=" & Trim(Username) & ";PWD=" &

Trim>Password) & ";DSN=" & Trim(DSN) & ""

Set db = Workspaces(0).OpenDatabase("", False, False, CONECTA)

consulta = "select count(\*) from DIAGEOLO where ID\_PROY=" & ID\_PROYECTO & ""

Set RS = db.OpenRecordset(consulta)

NUM\_REGISTROS = RS(0)

If NUM\_REGISTROS = 0 Then

BDIAGEOLO = False

db.Close

Exit Sub

End If

ReDim AGEOLO(NUM\_REGISTROS)

consulta = "select ID\_REGION, ID\_DTTO, ID\_PROY, FECACTUA, ID\_GEOR, " & \_

"PROF\_REAL, ID\_GEOP, PROF\_PRG, ETAP\_GEO, PROF\_VREAL " & \_

"from DIAGEOLO where ID\_PROY = " & ID\_PROYECTO & "" order by FECACTUA"

Set RS = db.OpenRecordset(consulta)

contador = 1

Do Until RS.EOF Or contador > NUM\_REGISTROS

If IsNull(RS(0)) Then

AGEOLO(contador).ID\_REGION = ""

Else

AGEOLO(contador).ID\_REGION = RS(0)

End If

If IsNull(RS(1)) Then

AGEOLO(contador).ID\_DTTO = ""

Else

AGEOLO(contador).ID\_DTTO = RS(1)

End If

If IsNull(RS(2)) Then

AGEOLO(contador).ID\_PROY = ""

---

```

Else
    AGEOLO(contador).ID_PROY = RS(2)
End If
If IsNull(RS(3)) Then
    AGEOLO(contador).FECACTUA = "00/00/00"
Else
    AGEOLO(contador).FECACTUA = RS(3)
End If
If IsNull(RS(4)) Then
    AGEOLO(contador).ID_GEOR = ""
Else
    AGEOLO(contador).ID_GEOR = RS(4)
End If
If IsNull(RS(5)) Then
    AGEOLO(contador).PROF_REAL = 0
Else
    AGEOLO(contador).PROF_REAL = RS(5)
End If
If IsNull(RS(6)) Then
    AGEOLO(contador).ID_GEOP = ""
Else
    AGEOLO(contador).ID_GEOP = RS(6)
End If
If IsNull(RS(7)) Then
    AGEOLO(contador).PROF_PRG = 0
Else
    AGEOLO(contador).PROF_PRG = RS(7)
End If
If IsNull(RS(8)) Then
    AGEOLO(contador).ETAP_GEO = 0
Else
    AGEOLO(contador).ETAP_GEO = RS(8)
End If
If IsNull(RS(9)) Then
    AGEOLO(contador).PROF_VREAL = 0
Else
    AGEOLO(contador).PROF_VREAL = RS(9)
End If
RS.MoveNext
contador = contador + 1
Loop
db.Close
Exit Sub

ma_error:
db.Close
MsgBox "Error número " & Err.Number & " Descripción: " & Err.Description, 64, "BASE DE D
A T O S S E D I P P"
BDIAGEOLO = False
Exit Sub

End Sub

```

---

Rutina para grabar datos en la tabla PROGEOLO En esta tabla se almacenarán los datos referentes a la columna geológica del pozo en diseño.

**Public Sub GUARDA\_PROGEOLO()**

Dim RS As Recordset  
Dim MenError As String  
Dim consulta As String  
Dim NUM\_REGISTROS  
Dim Renglon As Long

On Error GoTo ma\_error

NUM\_REGISTROS = UBound(APROGEOLO, 1)  
CONECTA = "ODBC;DATABASE=" & Trim(base) & ";UID=" & Trim(Username) & ";PWD=" & Trim>Password) & ";DSN=" & Trim(DSN) & ""

Set db = Workspaces(0).OpenDatabase("", False, False, CONECTA)

db.BeginTrans

For I = 1 To NUM\_REGISTROS

consulta = "insert into PROGEOLO " & \_  
"(ID\_PROY, ID\_RECNO, ID\_GEO, PROF\_GEO, PROFD\_GEO, ETAP\_GEO) " & \_  
"values(" & Trim(APROGEOLO(I).ID\_PROY) & "," & \_  
APROGEOLO(I).ID\_RECNO & "," & Trim(APROGEOLO(I).ID\_GEO) & "," & \_  
APROGEOLO(I).PROF\_GEO & "," & APROGEOLO(I).PROFD\_GEO & "," & \_  
APROGEOLO(I).ETAP\_GEO & ")"

Renglon = db.ExecuteSQL(consulta)

Next I

db.CommitTrans

db.Close

Exit Sub

ma\_error:

db.Close

Datos\_Pozo.MousePointer = 0

MsgBox "Error número: " & Err.Number & " Descripción: " & Err.Description, 64, "BASE DE DATOS SEDIPP, GPROG "

Exit Sub

**End Sub**

Rutinas que nos permiten calcular los diámetros de barrenas y tuberías de revestimiento con base en el diámetro del objetivo requerido, el diámetro de la barrena en la etapa superficial y el número de etapas requeridas Después de proporcionarle algunos datos, SEDIPP es capaz de calcular los diámetros subsecuentes e indicarnos que ya se finalizó con el diseño del agujero.

**Private Sub CmbBna2\_Click()**

DIAM(bna, 1) = CmbBna2.Text

If Trim(diam\_tr) = "3 1/2" Then

DIAM(tr, 0) = CmbTR1.Text

DIAM(bna, 0) = CmbBna1.Text

DIAM(tr, 1) = Cmbtr2.Text

End If

CmbTR3.Clear

---

```
CmbTR3.Enabled = True
CmbTR3.Visible = True
CmbBna3.Clear
CmbBna3.Enabled = True
CmbBna3.Visible = True
CmbTR4.Clear
CmbTR4.Visible = False
CmbBna4.Clear
CmbBna4.Visible = False
CmbTR5.Clear
CmbTR5.Visible = False
CmbBna5.Clear
CmbBna5.Visible = False
CmbTR6.Clear
CmbTR6.Visible = False
CmbBna6.Clear
CmbBna6.Visible = False
CmbTR7.Clear
CmbTR7.Visible = False
if Trim(DIAM(bna, 1)) = "6 1/2" Then
    CmbTR3.AddItem "7 3/4"
    CmbTR3.AddItem "7 5/8"
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "6 7/8" Then
    CmbTR3.AddItem "7"
    CmbTR3.ListIndex = 0
    CmbTR3.Enabled = False
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "5 7/8" Then
    CmbTR3.AddItem "7"
    CmbTR3.AddItem "7 3/4"
    CmbTR3.AddItem "7 5/8"
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "8 3/8" Then
    CmbTR3.AddItem "9 7/8"
    CmbTR3.AddItem "9 5/8"
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "8 3/4" Then
    CmbTR3.AddItem "10 3/4"
    CmbTR3.AddItem "9 7/8"
    CmbTR3.AddItem "9 5/8"
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "8 1/2" Then
    CmbTR3.AddItem "9 7/8"
    CmbTR3.AddItem "9 5/8"
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "12" Or Trim(DIAM(bna, 1)) = "12 1/4" Then
    CmbBna4.Clear
    CmbTR5.Clear
    CmbBna5.Clear
    CmbTR6.Clear
    CmbTR3.AddItem "13 3/8"
    CmbTR3.ListIndex = 0
    CmbTR3.Enabled = False
    CmbBna3.AddItem "17 1/2"
    CmbBna3.ListIndex = 0
    CmbBna3.Enabled = False
    CmbTR4.AddItem "20"
    CmbTR4.ListIndex = 0
    CmbTR4.Enabled = False
```

---

```

CmbBna4.AddItem "26"
CmbBna4.ListIndex = 0
CmbBna4.Enabled = False
CmbTR5.AddItem "30"
CmbTR5.ListIndex = 0
CmbBna5.AddItem "36"
CmbBna5.ListIndex = 0
CmbBna5.Enabled = False
CmbTR5.Enabled = False
CmbBna3.Visible = True
CmbTR4.Visible = True
CmbBna4.Visible = True
CmbTR5.Visible = True
CmbTR6.Visible = False
CmbTR6.Clear
CmbBna6.Visible = False
CmbBna6.Clear
CmbBna5.Visible = True
CmbTR7.Visible = False
CmbTR7.Clear
MsgBox "El Diseño de agujero ha finalizado", 64, "Diseño de agujero"
CmdOK.Enabled = True
CmdOK.SetFocus
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "10 5/8" Or Trim(DIAM(bna, 1)) = "12 1/4" Then
    CmbTR3.Clear
    CmbBna3.Clear
    CmbTR4.Clear
    CmbBna4.Clear
    CmbTR5.Clear
    CmbBna5.Clear
    CmbTR6.Clear
    CmbBna6.Clear
    CmbTR4.Visible = False
    CmbBna4.Visible = False
    CmbTR5.Visible = False
    CmbBna5.Visible = False
    CmbTR6.Visible = False
    CmbBna6.Visible = False
    CmbTR3.AddItem "11 3/4"
    CmbTR3.ListIndex = 0
    CmbTR3.Enabled = False
Elseif Trim(DIAM(bna, 1)) = "14 3/4" Then
    CmbTR3.AddItem "16"
    CmbTR3.ListIndex = 0
    CmbTR3.Enabled = False
End If

```

**End Sub**

**Private Sub CmbTR4\_Click()**

```

DIAM(tr, 3) = CmbTR4.Text
CmbBna4.Clear
CmbTR5.Clear

```

---

```

CmbTR5.Visible = False
CmbBna5.Clear
CmbBna5.Visible = False
CmbTR6.Clear
CmbTR6.Visible = False
CmbBna6.Clear
CmbBna6.Visible = False
CmbTR7.Clear
CmbTR7.Visible = False
If Trim(DIAM(tr, 3)) = "10 3/4" And Trim(Etapas) = "7" Then
    CmbBna4.AddItem "14 3/4"
    CmbBna4.AddItem "12 1/4"
    CmbBna4.AddItem "12"
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "10 3/4" And Trim(Etapas) = "6" Then
    CmbBna4.AddItem "14 3/4"
    CmbBna4.ListIndex = 0
    CmbBna4.Enabled = False
    CmbTR5.AddItem "16"
    CmbTR5.ListIndex = 0
    CmbTR5.Enabled = False
    CmbBna5.AddItem "20"
    CmbBna5.ListIndex = 0
    CmbBna5.Enabled = False
Elseif (Trim(DIAM(tr, 3)) = "9 5/8" Or Trim(DIAM(tr, 3)) = "9 7/8") And Trim(Etapas) = "7" Then
    CmbBna4.AddItem "12 1/4"
    CmbBna4.AddItem "12"
    CmbBna4.AddItem "10 5/8"
Elseif (Trim(DIAM(tr, 3)) = "9 5/8" Or Trim(DIAM(tr, 3)) = "9 7/8") And Trim(Etapas) = "6" Then
    CmbBna4.AddItem "10 5/8"
    CmbBna4.ListIndex = 0
    CmbBna4.Enabled = False
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "11 3/4" And Trim(Etapas) = "6" Then
    CmbBna4.AddItem "14 1/4"
    CmbBna4.ListIndex = 0
    CmbBna4.Enabled = False
    CmbTR5.AddItem "13 3/8"
    CmbTR5.ListIndex = 0
    CmbTR5.Enabled = False
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "11 3/4" And Trim(Etapas) = "5" Then
    CmbBna4.AddItem "14 1/4"
    CmbBna4.AddItem "20"
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "13 3/8" And Trim(diam_tr) = "5" Then
    CmbBna4.Clear
    CmbBna4.AddItem "17 1/2"
    CmbBna4.ListIndex = 0
    CmbBna4.Enabled = False
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "16" And Trim(diam_tr) = "5" And Trim(Etapas) = "6" Then
    CmbBna4.AddItem "17 1/2"
    CmbBna4.ListIndex = 0
    CmbBna4.Enabled = False
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "16" And Trim(diam_tr) = "5" Then
    CmbBna4.AddItem "20"
    CmbBna4.ListIndex = 0
    CmbBna4.Enabled = False

```

---

```

Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "13 3/8" And (Trim(diam_tr) = "7" Or Trim(diam_tr) = "7 5/8" Or
Trim(diam_tr) = "7 3/4") Then
    CmbBna4.AddItem "17 1/2"
    CmbBna4.ListIndex = 0
    CmbBna4.Enabled = False
    CmbTR5.AddItem "20"
    CmbTR5.ListIndex = 0
    CmbTR5.Enabled = False
    CmbBna5.AddItem "26"
    CmbBna5.ListIndex = 0
    CmbBna5.Enabled = False
    CmbBna4.Visible = True
    CmbTR5.Visible = True
    CmbBna5.Visible = True
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "16" And (Trim(diam_tr) = "7" Or Trim(diam_tr) = "7 5/8" Or
Trim(diam_tr) = "7 3/4") Then
    CmbTR4.Enabled = False
    CmbTR5.Visible = False
    CmbTR5.Clear
    CmbBna5.Visible = False
    CmbBna5.Clear
    CmbTR6.Visible = False
    CmbTR6.Clear
    CmbBna6.Visible = False
    CmbBna6.Clear
    CmbTR7.Visible = False
    CmbTR7.Clear
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "24" Then
    CmbBna4.Visible = False
    CmbBna4.Clear
Elseif Trim(DIAM(tr, 3)) = "20" Then
    CmbBna4.AddItem "26"
End If
End Sub

```

Rutinas que trabajando en conjunto permiten verificar si la profundidad de asentamiento es adecuada, de acuerdo a los datos calculados de densidades de poro y de fractura SEDIPP utiliza diferentes reglas para evaluar la profundidad de asentamiento de la capa filisola hacia abajo. Ya que se ha verificado que la profundidad es adecuada, SEDIPP procede a dibujar las etapas subsecuentes. SEDIPP es capaz de evaluar si el cambio realizado a una etapa, afecta a las demás. En este caso nos lo indicará y nos permitirá cambiar la profundidad de la etapa en diseño, o modificar la etapa que se vio afectada, aunque ya se había realizado un diseño adecuado para la misma.

```

Sub Asen()
    Const fact = 0.05
    SWICH_MADE = True
    quitar = False
    For I = 1 To 6
        If txtPTR(I).Visible = True Then
            If txtPTR(I) <= PROF_FIL Then
                T_DENS(I - 1) = (T_PORO(I - 1) + T_FRA(I - 1)) / 2
                Lbideal(I).Caption = T_DENS(I - 1)
            End If
        End If
    Next I
End Sub

```

```

Else: T_DENS(l - 1) = T_PORO(l - 1) + fact
If txtPTR(l) = txtPTR(l + 1) And txtPTR(l + 1).Visible = True Then
    Lbldeal(l).Caption = T_DENS(l - 1)
    Lbldeal(l + 1).Visible = False
    quitar = True
End If
If Lbldeal(l).Visible = True And quitar = False Then
    Lbldeal(l).Caption = T_DENS(l - 1)
Elseif Lbldeal(l).Visible = True And quitar = True Then
    Lbldeal(l + 1).Caption = T_DENS(l - 1)
End If
End If
If T_DENS(l - 1) > T_FRA(l) And T_FRA(l) <> 0 Then
    MsgBox ("La densidad a utilizar en esta etapa es mayor" + Chr(13) + "que la máxima
permitida, ¿Modificar asentamiento?")
    For n = 1 To num
        If etapa(n) = txtPTR(l) And txtPTR(l).Enabled = True Then
            txtPTR(l) = etapa_temp(n)
            Exit For
        Elseif txtPTR(l + 1).Enabled = True And etapa(n) = txtPTR(l) Then
            txtPTR(l + 1) = etapa_temp(n + 1)
            Exit For
        End If
    Next n
Exit Sub
End If
Next l
If SWICH_MADE Then
    MsgBox ("Valor de densidad adecuado" + Chr(13) + "Se modificará asentamiento")
    If ya_quite = True Then
        max_tr = max_tr - 1
        If max_tr <= 2 Then
            CheckLiner(0).Visible = False
        End If
        ya_quite = False
        quitar = False
    End If
    If anadi = True Then
        max_tr = max_tr + 1
        If max_tr > 2 Then
            CheckLiner(0).Visible = True
        End If
        For l = 1 To 6
            If etapa(l) = txtPTR(l) And etapa(l) <> 0 Then
                txtPTR(l).Visible = True
                OptPTR(l).Visible = True
                Lbldeal(l).Visible = True
            End If
        Next l
        anadi = False
    End If
    For l = 1 To max_tr + 1
        etapa_temp(l) = etapa(l)

```

```

Next l
Call dib_tr_op
End If
End Sub

Sub Asent_TR()
If check = False Then
Const fact = 0.05
MsgBox "Se verificará si la profundidad" + Chr(13) + "tiene densidad adecuada"
If una = False Then
For n = 1 To carga
GridOptim.Row = n
If GridOptim.Text = "" Then
GridOptim.Row = carga
GridOptim.Col = 1: PROF(n) = 10000
GridOptim.Col = 2: poro(n) = 5
GridOptim.Col = 3: fra(n) = 5
Else: GridOptim.Col = 1
PROF(n) = GridOptim.Text
GridOptim.Col = 2: poro(n) = GridOptim.Text
GridOptim.Col = 3: fra(n) = GridOptim.Text
End If
Next n
una = True
End If
cont = 0: w = 1
For l = 1 To 6
check = True
ct = w
Do
If PROF(w) > etapa(l) And TxtQuitar = "" Then
msg1 = "No existe Información suficiente de " + Chr(13) + "gradientes a " & _
etapa(l) & " metros" + Chr(13) + "¿Desea una TR a esa profundidad?"
resp = MsgBox(msg1 + Chr(13) + "(Debera teclear los gradientes respectivos si la
respuesta es Si)", 36, "Salida de GEOPRES")
If resp = vbYes Then
FrmGrad.Visible = True
LblPrGrad.Caption = etapa(l)
n = l
TxtGradPoro.SetFocus
Exit Sub
Else
For n = 1 To num
If etapa(n) = txtPTR(l) And txtPTR(l).Enabled = True Then
txtPTR(l) = etapa_temp(n)
Exit For
ElseIf txtPTR(l + 1).Enabled = True And etapa(n) = txtPTR(l) Then
txtPTR(l + 1) = etapa_temp(n + 1)
Exit For
End If
Next n
Exit Sub
End If
End If
End If
End If

```

---

```

If etapa(l) = etapa(l - 1) And (etapa(l) <> 0 And etapa(l - 1) <> 0) Then
    resp = MsgBox("¿Eliminar una etapa?", vbYesNo, "Optimización")
    If resp = vbYes Then
        resp = 0
        ya_quite = True
        Max = l - 1
        Do While Max <= max_tr
            etapa(Max) = etapa(Max + 1)
            Max = Max + 1
        Loop
        etapa(Max) = 0
    Else: Exit Sub
    End If
End If
Do While PROF(w) <= etapa(l) Or etapa(l) = 0
    For w = cont To carga + 1
        If PROF(w) > etapa(l) Or (PROF(w) = 0 And w > 2) Then
            check = False
            Exit Do
        Else
            cont = cont + 1
        End If
    Next w
Loop
Loop Until check = False
SWICH_MADE = True
NO_TESTS = cont - 1
While SWICH_MADE
    SWICH_MADE = False
    For a = ct To NO_TESTS - 1
        If poro(a) > poro(a + 1) Then
            TEMP = poro(a)
            poro(a) = poro(a + 1)
            poro(a + 1) = TEMP
            SWICH_MADE = True
        End If
        If fra(a) > fra(a + 1) Then
            TEMP = fra(a)
            fra(a) = fra(a + 1)
            fra(a + 1) = TEMP
            SWICH_MADE = True
        End If
    Next a
Wend
TemPoro(l - 1).Visible = True
TemPoro(l - 1).Text = Val(poro(NO_TESTS))
T_PORO(l - 1) = Val(poro(NO_TESTS))
TemFra(l - 1).Visible = True
TemFra(l - 1).Text = fra(ct)
T_FRA(l - 1) = fra(ct)
Next l
Call Asen
End If
End Sub

```