

11054
214



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Estado del Arte y Aplicaciones de la Tecnología de los Sistemas Expertos en la Ingeniería Geotécnica

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
Héctor Eduardo Gutiérrez Cureño



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1992



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 está 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.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....página 1

INTELIGENCIA ARTIFICIAL E INGENIERIA CIVIL

CAPITULO A página 5

LA TECNOLOGIA DE LOS SISTEMA EXPERTOS

INTRODUCCION

A.1) CARACTERISTICAS Y ESTRUCTURA DE LOS
SISTEMAS EXPERTOS

A.2) CAMPOS DE APLICACIÓN EN LA INGENIERIA

A.3) VENTAJAS DEL USO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

CAPITULO B página 25

SISTEMAS EXPERTOS Y GEOTECNIA

INTRODUCCION

B.1) CARACTERISTICAS DEL CONOCIMIENTO GEOTECNICO.

B.2) APLICACIONES DE LOS SE EN LA GEOTECNIA.

B.3) ARQUITECTURA DE UN SE PARA LA GEOTECNIA

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

CAPITULO Cpágina 44

ESTADO DEL ARTE DE LOS SE EN LA GEOTECNIA.

INTRODUCCIÓN.

C.1) LOS SE Y EL DESARROLLO GENERAL DE LA GEOTECNIA.

C.2) ESTADO DEL ARTE DE LOS SE EN LA GEOTECNIA.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

CAPITULO Dpágina 70

**DESARROLLO Y CONSTRUCCION DE SE GEO: Un sistema
experto para la exploración geotécnica.**

INTRODUCCION

D.1) PLANEACIÓN DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS.

D.2) OBJETIVOS DE LA EXPLORACION GEOTECNICA.

D.3) ACERCA DEL SHELL Y LA PROGRAMACIÓN ORIENTADA
A OBJETOS

D.4) CONCEPTUALIZACION Y DESARROLLO DE SE GEO.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

CONCLUSIONES.....página 89

APENDICE I

BASE DE DATOS DE SE APLICADOS A GEOTECNIA.....página 95

INTRODUCCION

INTELIGENCIA ARTIFICIAL E INGENIERIA CIVIL

A nivel mundial se vive una etapa de profundos cambios económicos, sociales y tecnológicos que sin duda repercuten en todos los ámbitos de la vida humana. Uno de esos cambios es el acelerado desarrollo tecnológico mundial, cuyo fin último es la incansante búsqueda de la calidad y la eficiencia técnica y económica de los procesos, cuyo impacto se ve reflejado en todas las ramas del conocimiento. Este desarrollo crea nuevas necesidades a los profesionistas encargados de aplicar sus conocimientos en la solución eficiente de problemas reales, por ejemplo en la exigencia de una mayor preparación para poder hacer frente a estas nuevas tecnologías.

Adicionalmente en la Ingeniería civil, la exigencia de más y mejores obras, se ve acentuada por el tipo de necesidades que exige una sociedad en desarrollo, tales como:

- Creación de infraestructura necesaria para el transporte de mercancías y pasajeros (portuaria, carretera y ferroviaria)
- Suministro de servicios básicos a millones de mexicanos en el menor tiempo posible y en la forma más eficiente(vivienda, agua , drenaje, luz)
- Protección del medio ambiente
- Construcción de la infraestructura para fuentes de energía tradicionales (plantas hidroeléctricas) y nuevas (uso de fuentes eólicas)
- Construcción en ambientes difíciles y hostiles

- Proporcionar mantenimiento a la infraestructura existente, lo que implica crear nuevos métodos de mantenimiento e inspección.
- Consideración de aspectos *humanos* y sociales en la solución de problemas.
- Conocimiento adecuado de los fenómenos naturales como los sismos, para evitar en lo posible los daños.
- Adaptación a las nuevas formas de financiamiento y construcción de obras .
- Desarrollo de una industria competitiva.

De lo anterior se desprende la necesidad que existe de conocer, utilizar y desarrollar aquellas herramientas, técnicas y procesos que nos ayuden a enfrentar y a satisfacer de mejor manera estos retos.

Una herramienta fundamental en este proceso es la ciencia de la computación, la cual, como dijera un científico "es como un pulpo que extiende sus brazos a todos los campos del saber". Dentro de las múltiples ramas de esta ciencia, la Inteligencia Artificial (IA) y en particular la tecnología de los Sistemas Expertos (SE), se presenta como un tipo de software cuya importancia aumentará a pasos agigantados en el futuro. Los SE son una técnica que permite aprovechar, transmitir y preservar de manera más eficiente el conocimiento empleado en la solución de problemas; utilizando además de las ventajas actuales de la computación (software y hardware) las herramientas y técnicas desarrolladas en el campo de la Inteligencia Artificial.

La Inteligencia artificial (IA) es la disciplina que tiene por objeto solucionar problemas complejos mediante la computarización de los procesos requeridos por la mente humana para captar y clasificar información, identificar estructuras y patrones en lo percibido, captar

significados, plantear problemas, buscar soluciones, planear su implantación y hacer el control, seguimiento y adaptación de dichas soluciones a través del tiempo.

En forma más sencilla podemos identificar a la (IA) como el área de las ciencias de la computación que estudia los procesos mentales (combinando técnicas de filosofía, psicología, electrónica e Ingeniería) que guían el comportamiento inteligente humano, con el fin de reproducirlos en máquinas que sean capaces de emular estos procesos.

En 1956 nace formalmente la Inteligencia Artificial. A partir de ese momento se crean dos enfoques, el estructural y el funcional. El primero pretende emular el cerebro humano, incluyendo su estructura física. El segundo busca crear sistemas que reproduzcan las funciones del cerebro humano

Algunas de las líneas de desarrollo de la Inteligencia artificial son: solución heurística de problemas, representación del conocimiento, sistemas expertos, redes neuronales recuperación inteligente de la información, percepción y reconocimiento de formas, aprendizaje, procesamiento del lenguaje natural y robótica.

De notoria importancia han sido los esfuerzos por emular los procesos del razonamiento humano que han dado cabida al desarrollo de los SE, cuya materialización se hace a través de un programa de computación. De igual manera, los avances de la IA han sido importantes en el área de la robótica y en el desarrollo de Redes Neuronales.

En cuanto a las aplicaciones de la Inteligencia artificial en la Ingeniería civil, podemos decir que estas apenas se están empezando a dar en México, sin embargo las perspectivas son

buenas, considerando el desarrollo que ha tenido una de sus ramas, los Sistemas Expertos a nivel mundial y en cada una de las áreas que conforman este campo del saber.

Además no debemos dejar de pensar en las aportaciones de las demás ramas de la IA, por ejemplo, las redes neuronales, la recuperación inteligente de información, la robótica y la programación automática son campos de la IA de los que podemos esperar mucho en el futuro. Tan solo pensemos en el caudal de información que se genera y que se requiere en las obras de Ingeniería y que podría ser utilizada de mejor manera mediante las técnicas de recuperación inteligente de información, en la eficiencia que se podría lograr en el procesamiento de imágenes y señales a través de las redes neuronales, en la construcción de robots para tareas difíciles en la construcción, o en el diseño de sistemas para mejorar el proceso de enseñanza (Sistemas Tutoriales Inteligentes).

El objetivo de esta tesis es mostrar la aplicabilidad y las ventajas de la utilización de los SE para su utilización en la práctica de la Ingeniería civil mexicana, en particular en el área de la geotecnia. Se incluyen además los resultados de la investigación del estado del arte de la aplicación de los SE en la geotecnia [1975-1991] y se describe el proceso de desarrollo y construcción de SE GEO, un sistema experto para la exploración geotécnica en el Distrito Federal.

Finalmente mencionaremos que esta tesis forma parte de los trabajos de investigación del laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Ingeniería, dirigido por el Dr. Felipe Lara Rosano, los cuales tienen el objetivo de difundir e incorporar la tecnología de los SE a la práctica de las diferentes ramas que conforman la Ingeniería. En actualidad las áreas en las que se trabaja son Ingeniería civil e Ingeniería Industrial.

CAPITULO

A. LA TECNOLOGIA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS .

INTRODUCCION

A partir de 1985 el desarrollo de Sistemas expertos aplicados a la Ingeniería civil ha tenido un crecimiento extraordinario en la diversas ramas que conforman este dominio del conocimiento, prueba de ello lo constituyen la variedad de aplicaciones que se han desarrollado en el area de la construcción, las estructuras, la hidráulica, la ingeniería de transporte, la Ingeniería ambiental y por supuesto en la geotecnia. Aunque existen varios factores para explicar este fenómeno, dos son los principales:

- a) El desarrollo de las propias herramientas para crear y desarrollar sistemas expertos en forma accesible y los avances que se han tenido en el campo de la inteligencia artificial.
- b) El interés de un sector de la comunidad de ingeniería civil, principalmente en las universidades, para aprovechar esta tecnología, que se refleja en los intentos de los propios investigadores por adecuar las características de los SE al tipo de conocimiento y problemas de la propia ingeniería

En este capítulo se describen las características, conceptos y estructura de los sistemas expertos; se incluyen algunos conceptos que los investigadores del área de Ingeniería civil han incorporado a la teoría de los SE .

A.1) CARACTERISTICAS Y ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Definición y diferencias con la programación convencional.

Los Sistemas Expertos (SE), son sistemas de computación creados para la solución de problemas específicos que requieren la utilización en forma eficiente del conocimiento experto. La característica básica de estos sistemas es la incorporación del conocimiento y de los mecanismos de inferencia de los humanos expertos, tales como los procesos heurísticos para arribar a conclusiones válidas. De hecho uno de los objetivos de los SE es que funcionen precisamente como lo hacen expertos humanos en un dominio particular del conocimiento.

La anterior definición establece los alcances y límites de los SE, por un lado es claro que los SE no poseen todas las características de un Experto Humano y únicamente son capaces de resolver ciertas tareas cuyos procesos puedan ser implantados en computadoras. Por otro, esta misma limitante ha impulsado la utilización de las computadoras en la solución de problemas; por ejemplo la rapidez en la obtención de resultados así como fiabilidad y manejabilidad de grandes cantidades de datos.

Existen algunas diferencias entre los sistemas de computación conocidos como SE y los programas comunes. En la tabla 2.1 (Maher 1987), se señalan las diferencias entre el concepto de programación convencional y SE .

TABLA 2.1 Diferencias entre los programas tradicionales y los SE

Programación Convencional	Sistemas Expertos
Representación y uso de datos	Representación de conocimiento
Conocimiento y control integrados	Conocimiento y control separados
Procesos algorítmicos	Procesos heurísticos (inferencia)
Manipulación efectiva de grandes cantidades de datos	Manipulación efectiva de conocimiento
Explicación durante el proceso, difícil	Explicación durante el proceso, posible.
Programación orientada hacia el procesamiento numérico	Programación orientada hacia el procesamiento simbólico.

Es importante mencionar que en muchos de los problemas de ingeniería, la toma de decisiones o el proceso de inferencia, se realiza con auxilio de una serie de procesos algorítmicos. La mayoría de los SE aplicados a la ingeniería realizan estos procesos para tomar una decisión; con ello se logra conjuntar las ventajas de los sistemas de programación convencional (eficiencia en los procesos algorítmicos) y la de los SE (manejo de procesos heurísticos).

Características básicas.

Las características básicas de los SE son, entre otras, las siguientes:

1. En su aplicación: Tienen un dominio específico, lo que significa que las aplicaciones de un SE se enfocan a problemas que deben estar definidos, estructurados y claramente acotados. Casey [1980], investigador en IA (Inteligencia Artificial), sugiere que el problema seleccionado debe involucrar:

- Análisis complejos
- Muchas condiciones alternativas

- Más de una respuesta correcta
- Necesidad de consistencia en la aplicación de reglas de un problema .
- Expertos relativamente escasos.

En la parte contraria, tendríamos, las características de los problemas en los que no es aconsejable usar SE(Lara & Gelman 1989):

- Excesiva simplicidad (menos de 10 reglas), ya que estos pueden resolverse por un humano casi por intuición.
- Extremada complejidad (más de 10,000 reglas), por el tiempo que requiere para su diseño y construcción.
- De tipo numérico, por la existencia de programas y paquetes algorítmicos muy eficientes para este tipo de problemas.

2. Solución del problema: Comúnmente la solución de problemas en Ingeniería está regida por dos tipos de enfoques, el heurístico y el algorítmico. La característica esencial de los SE es la incorporación de un enfoque heurístico, que permite que las soluciones o las conclusiones a los problemas que aborda se puedan generar a partir de inferencias, que además y como es común en la Ingeniería, implican un cierto grado de incertidumbre en la información.

3. Representación del conocimiento: Una de las características esenciales de los SE en cuanto a funcionalidad y capacidad del propio sistema, se refiere a la forma o esquema en que se representa el conocimiento de un dominio específico. Las ideas que guían este problema son dos:

- optimizar el uso del espacio de computadora.(manteniendo sólo el conocimiento necesario y útil, con el que podamos resolver el problema)
- la manejabilidad para inferir a partir de ese conocimiento, nuevo conocimiento implícito, o adecuado a un problema en particular.

Como el cerebro humano es el órgano que mejor realiza el proceso de abstraer las

características fundamentales de las cosas, y representarlas internamente, los mecanismos propuestos están basados en la forma en que se cree funciona y se representa el conocimiento en la mente de un humano experto, por ejemplo:

- Redes semánticas y la programación orientada a objetos que nos permiten tener asociaciones entre los objetos y sus atributos en forma bastante libre.

- Los marcos o frames que nos dan la flexibilidad de tener un marco por objeto de estudio y definir dentro de él, todas las características que de él se "conozcan"

- Reglas, que son esquema de representación del conocimiento más utilizado en SE, por la facilidad que representa el uso del esquema "SI-ENTONCES" para manejar el conocimiento.

- Programación lógica y sus derivaciones.- las estipulaciones lógicas, basadas en la lógica de predicados, y de ahí la programación lógica, son una forma también bastante común de representar el conocimiento. Asimismo la lógica difusa representa una buena opción en aquellos problemas en los que la incertidumbre en la información juega un papel crítico.

Finalmente, la combinación en un mismo problema de algunas de las formas ya descritas.

4. Manejo de la incertidumbre: El manejo de la incertidumbre es vital en los SE. La mayoría de los problemas de cualquier área del conocimiento, implican el manejo de incertidumbre debido a la dificultad para conocer los fenómenos con precisión, en la imposibilidad de establecer criterios que funcionen eficientemente para todos los casos ó en la dificultad de representar características del mundo real a través del lenguaje hablado en la computadora.

** Estructuras lógicas, en donde SI (condición a cumplir) ENTONCES (Acción a realizar)

5. Interacción con el usuario: En esta parte tendremos dos casos:

Durante el proceso de corrida del sistema. Aquí el usuario tiene la opción de preguntar por qué se realiza una pregunta en particular y cual es la fuente del conocimiento del sistema, entre otras ayudas. El sistema también tiene la opción de mostrar al usuario información relevante acerca de la pregunta que realiza

-Al final del proceso.- El sistema despliega sus soluciones en forma de recomendaciones. Algunas veces, y cuando el problema es elegir una solución de una serie de alternativas, el sistema despliega todas las alternativas, con su respectivo valor de certeza. Esta característica hace que los SE sean presentados como sistemas de ayuda para la toma de decisiones .

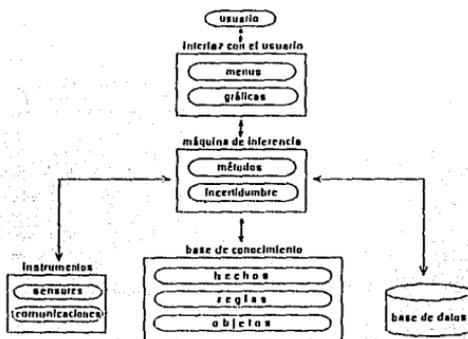
Estructura general

Formalmente los SE tienen la arquitectura (FIG. 2.1), que se desglosa a continuación. Sin embargo la forma en que se integran en una aplicación específica puede variar dependiendo del tipo de problema y de los objetivos del sistema

1. La base de conocimiento, conocida en inglés como KB. Las KB son uno de los elementos claves de los SE ya que de la habilidad para representar y almacenar el conocimiento, dependerá la eficiencia del sistema. Este conocimiento está expresado en una serie de hechos conocidos, plasmados en una base de hechos y en un conjunto de relaciones que configuran una base de relaciones. Las formas más comunes de representar el conocimiento son: hechos, reglas, frames y redes semánticas(más adelante se explicará en que consiste cada uno)

2. La máquina de inferencia que trabaja con el conocimiento infiriendo nuevo conocimiento a partir del existente y resolviendo el problema planteado, si este tiene solución dentro del contexto del sistema. Existen diversas técnicas para ello; por ejemplo encadenamiento hacia atrás y encadenamiento hacia adelante entre otros. El tipo de técnica de inferencia está en función del tipo de representación del conocimiento elegido y del tipo de problema involucrado.

3. El sistema de adquisición del conocimiento, que sirve para transferir el conocimiento de los expertos mediante: entrevistas, aprendizaje por Interacción y aprendizaje por inducción.
4. La interfaz con el usuario, que permite la comunicación entre el usuario y el sistema experto
5. La interfaz explicativa, que permite cuestionar al SE acerca del origen de sus conclusiones ó recomendaciones y acerca del porqué hace determinada pregunta al usuario durante la corrida.



ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EXPERTO

FIGURA 2.1

Representación del conocimiento e incertidumbre.

Las formas de representar el conocimiento que más se han aplicado en los SE son:

Hechos: Son juicios enunciativos acerca de un tema; en otras palabras, son piezas elementales de conocimiento (por ejemplo el acero A-36 tiene un $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$).

Como ya sabemos un experto puede tomar decisiones basadas en conocimiento

Incompleto, Inexacto o en Información Inclerta. De igual manera los hechos pueden ser inciertos. Una forma de representar la incertidumbre en el conocimiento es a través de los Factores de Certeza (FC). Un factor de certeza es un número entre 0-100 que refleja nuestra confianza en el hecho. Un FC= 100, significa que el hecho es totalmente cierto, por el contrario un FC= 0, significa que el hecho es definitivamente falso. Numeros entre 0-100 son Inexactos.

Por ejemplo:

La inversión en vivienda será alta el proximo año FC = 50

El material es frágil FC= 30

El concreto tiene un $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ FC= 70

Reglas .- Están basadas en una de las formas idealizadas en que se supone los humanos expertos manejan mentalmente el conocimiento; es decir, un experto parte del conocimiento de una serie de hechos o datos, los analiza y obtiene un veredicto. En todos los casos los especialistas elaboran cadenas de razonamiento a partir de los hechos.

La forma en que se puede representar esta forma de deducción es a través de reglas del tipo SI-ENTONCES.:

Si condición se satisface

ENTONCES realizar una acción

Por ejemplo

Si el material posee una permeabilidad de $K = 0.05 \text{ m/s}$

Entonces el material es una arena.

CF = 0.80 (factor de certeza de la regla)

Las reglas también pueden utilizar conectores del tipo Y / O (AND / OR)

Las reglas además se pueden clasificar según el orden en que se encuentran al interior del sistema siendo :

- De primer orden, si la parte de la acción a realizar induce a una acción específica .
- Metareglas o reglas de orden superior, en las que la acción a realizar conduce a su vez a otra regla.

Asimismo, también manejan incertidumbre, desde los hechos mismos de que están formadas, hasta la regla vista como un solo elemento. En la teoría de la certeza se analiza la forma de manejar la incertidumbre entre reglas para llegar a conclusiones (*Lara y Gelman 1989*).

Existen otro tipo de formas de representar el conocimiento; a continuación mencionaremos en forma resumida las más importantes :

Frames: Son marcos generales de conocimiento usados para organizar el conocimiento (hechos y reglas) en forma de agrupaciones; con ello se organiza el conocimiento en módulos jerarquizados.

Un frame consta de :

- a) Nombre del objeto
- b) El genero de los objetos incluidos en el frame, también llamado " El padre del objeto"(parent object)
- c) Las cualidades del objeto y sus valores o cualidades específicas; estas cualidades las hereda a sus especies lógicas o descendientes
- d) Condiciones para acceder a la información del objeto.

Redes semánticas: Permiten tener asociaciones entre objetos y sus atributos, representados a través de nodos y arcos en forma bastante libre.

Objetos: Similarmente a las redes semánticas, los objetos son agrupaciones de elementos de la realidad que describen una identidad en sus atributos. La ventaja de los objetos es que se relacionan con la programación orientada a objetos que permite establecer las relaciones entre

objetos de una misma especie. De esta manera podemos representar y manejar en la computadora el conocimiento a través de objetos tal como lo hacemos al pensar en algún problema.

Windows: Basados en el uso de la lógica difusa, son representaciones matemáticas de las restricciones a los valores que una variable puede tomar. Su principal ventaja es que combinan el conocimiento y la Incertidumbre en una sola entidad; en otras palabras, una windows es una lista de valores que caracterizan a un objeto respecto a la variable de Interés (Chameau & Santamarina 1989).

Por ejemplo, la windows para la variable: Permeabilidad de una arena quedaría de la siguiente manera:

Permeabilidad de una arena(k)

Rango de valores que puede tener

en cm/ϵ (10^{-8} 10^{-7} 10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^2 10^1)

window(0.0 0.0 0.0 0.4 0.8 1.0 1.0 0.8)

La window indica que un material con una permeabilidad de 10^{-3} , definitivamente es una arena (con un grado de aceptabilidad de 1), mientras que un material con un $k = 10^{-1}$ tiene menos posibilidad de ser una arena (aceptabilidad de 0.8).

Las windows estan diseñadas para problemas que involucren la selección de una alternativa, de una serie de alternativas posibles, cuando los parámetros de selección no estan bien definidos.

Motor de Inferencia.

La inferencia es otra de las partes esenciales de los SE. En términos generales el proceso que realiza el motor de inferencia consta de lo siguiente (Benchimol 1990):

Reconocimiento de las reglas aplicables (identificación de patrones). Muchos sistemas realizan una preselección antes de iniciar la identificación propiamente dicha; en otras palabras, esta operación consiste en considerar un subconjunto de reglas, de las cuales se obtienen las reglas aplicables (preselección). Una vez que las reglas han sido reconocidas, deben ser elegidas lo que depende de la estrategia de control (selección). Finalmente una vez que la regla ha sido elegida se ejecuta

Estrategias de control

Las principales estrategias de control, que trabajan con reglas son (Saldaña 1985):

Encadenamiento hacia adelante (Forward-Chaining). Llamado también de abajo-hacia-arriba, consiste en trabajar a partir de los hechos y dirigirse hacia las metas. Todos los hechos son proporcionados inicialmente al sistema, el cual deduce la hipótesis más apegada a los hechos proporcionados. El principal problema de este método es que requiere tener todos los hechos en memoria. Esta estrategia es útil en situaciones en donde aparecen un gran número de hipótesis y pocos datos de entrada.

Encadenamiento hacia atrás (Backward-Chaining). Este método parte de una hipótesis y revisa aquellos hechos que la sustentan. En caso de que los hechos y las evidencias se confirmen, se declara que la hipótesis es verdadera.

Reducción del problema. Este término consiste en descomponer al problema original en subproblemas menos complejos. La descomposición del problema se representa mediante una gráfica AND -OR. Un nodo AND tiene varios arcos apuntando a un cierto número de nodos sucesores, que deben ser resueltos, para que el nodo AND sea verdadero. Este método es muy útil para resolver problemas grandes y complejos.

Backtracking. Este método consiste en revisar decisiones previas cuando se ha seguido una

trayectoria a una solución fallida. El backtracking se usa cuando se hacen suposiciones o aproximaciones a la solución de un problema.

Las anteriores estrategias, son las más utilizadas en SE. Existen otros métodos como:

Análisis de medio-metas

Plan-genera-prueba y;

Control de agenda

Las características aquí mencionadas dan una idea de la estructura general de un SE. Pueden existir diversas estructuras dependiendo de las necesidades del problema a tratar. De hecho, una parte importante del desarrollo de los SE, consiste en adecuar cada una de estas partes al tipo de conocimiento y problemas de un dominio en particular.

A.2) CAMPOS DE APLICACION EN LA INGENIERIA.

Tipos de tareas.

Para visualizar la aplicabilidad de los SE en la Ingeniería, mencionaremos el tipo de tareas que son de uso frecuente en cualquier rama del conocimiento y que pueden ser implantadas a través de SE (Teran & Gutiérrez 1990)

-Interpretación. Si se desea que el SE infiera significados y situaciones a partir de una serie de resultados; por ejemplo, interpretar datos de instrumentos de medición.

-Predicción: El SE busca inferir las probables consecuencias a partir de una situación dada. Por ejemplo predecir la probable ocurrencia de sismos.

-Diagnóstico. Si se desea detectar o inferir el mal funcionamiento de un sistema a partir de una

serie de síntomas y signos. Por ejemplo, diagnosticar los problemas de filtración de una presa a partir de observaciones y signos dados.

-Diseño: Si se quiere desarrollar las configuraciones espaciales que resuelven un tipo de problema, satisfaciendo las restricciones impuestas al mismo. Por ejemplo diseñar estructuras.

-Planeación: Cuando se quiere diseñar o determinar el conjunto de acciones interrelacionadas que permitirán lograr algún objetivo determinado, utilizando recursos disponibles bajo una serie de restricciones; por ejemplo, planear el proceso constructivo de alguna obra.

-Monitoreo: Para analizar observaciones hechas sobre el comportamiento de un sistema, con el fin de detectar posibles desviaciones respecto a una norma y tomar eventuales medidas correctivas con la debida oportunidad; por ejemplo, analizar información a partir de la instrumentación en campo.

-Depuración: Para prescribir los remedios que conjugar condiciones anómalas en un sistema .

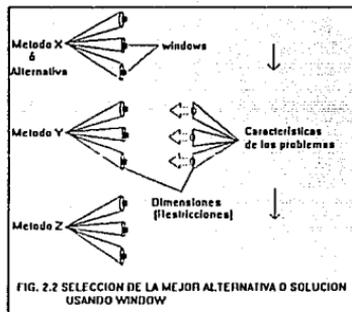
-Reparación: Permite desarrollar y ejecutar planes para corregir fallas.

-Control: Si con el fin de alcanzar un cierto objetivo, se precisa realizar la interpretación de la situación actual, la comparación con la norma, la detección de desviaciones y la formulación del plan de corrección y monitoreo de la ejecución.

Selección de alternativas.

Gran variedad de problemas con los que trata el ingeniero involucran la selección de la mejor alternativa de un grupo de posibles alternativas. Para realizar adecuadamente esta tarea es necesario evaluar las restricciones de cada una para saber cuál es la más adecuada. Algunos de los SE que se han desarrollado tienen la tarea de seleccionar la mejor alternativa. Estos sistemas

están basados en la arquitectura de sistemas de producción; es decir, buscan el espacio de alternativas con reglas del tipo "SI-ENTONCES". Una alternativa a esta aproximación lo constituyen las ventanas difusas "fuzzy windows" (Santamarina 1990), cuyo diagrama de funcionamiento se indica en la figura 2.2.



Cada solución posible es representada con un *stack* (grupo de windows) que reflejan las variables y sus correspondientes valores de aceptabilidad (FIG 2.3a). De esta manera el proceso de toma de decisiones puede ser modelado como un proceso que filtra las características de un problema a través del paquete ó *stack* de ventanas de cada alternativa ó método FIG. (2.3a y 2.3b). La mejor solución es aquella que obtenga mayor grado de aceptabilidad

Por otro lado, sabemos que un experto no necesita verificar la aceptabilidad de cada alternativa para cada una de las dimensiones consideradas, hacer ello resultaría muy ineficiente. Una mejor aproximación a la forma en que los expertos resuelven este tipo de problemas es considerar una potencial solución; por ejemplo la alternativa X y probar su aceptabilidad bajo una dimensión (cada una de las windows del *stack* correspondiente), si esta es totalmente aceptable

entonces la alternativa X es probada bajo otra dimensión, si para esta dimensión no es aceptable, una nueva alternativa diferente Y es considerada y el proceso se repite. La alternativa X se guarda para su posible reconsideración en caso de que las otras potenciales soluciones sean menos aceptables.

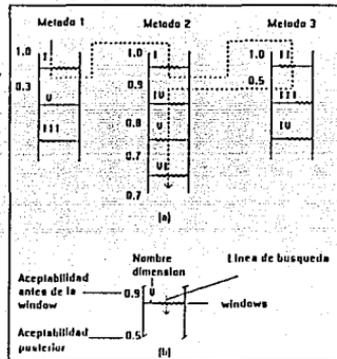


FIG.2.3 Procedimiento de búsqueda. Mapa de búsqueda (a) y filtración (b)

El concepto IDS (Intelligent Decision -Support)

Algunos investigadores utilizan el concepto IDS (Simonovic 1999) para desarrollar aplicaciones de los SE. La importancia de IDS se debe a que ubica perfectamente el papel de los SE dentro del proceso de toma de decisiones FIG. 2.4

La estructura de IDS contiene cuatro bloques principales :

- 1.Un bloque que contempla el proceso de creación de nuevo conocimiento,
- 2.Un bloque que aproxima los problemas mediante la teoría de sistemas,
- 3.Un bloque que utiliza las ayudas computacionales como gráficas por computadora

4. Un Sistema Experto.

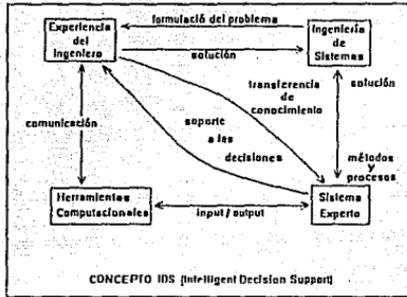


FIG. 2.4 Concepto IDS

IDS es un concepto diseñado para mejorar el proceso de toma de decisiones. En este ambiente, la computadora es vista como una cadena y un traductor entre el experto y la toma de decisiones. Sin embargo, la computadora no es únicamente un mecanismo de análisis, también es un vehículo de comunicación, enseñanza y experimentación. La mayor ventaja de este concepto es que sus productos son aplicaciones orientadas más que metodologías orientadas; de esta forma la tecnología de la Inteligencia Artificial, a través de SE se combina con las técnicas clásicas de análisis ingenieril, procesamiento de datos y análisis de sistemas en el objetivo de arribar a mejores decisiones.

A.3) VENTAJAS DEL USO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS

Principales ventajas.

A continuación mencionaremos algunas de las ventajas más significativas de los SE (Terán & Gutiérrez 1990).

a) Las aplicaciones se dan principalmente en un contexto en el que la solución modular de un problema depende de procesos heurísticos más que algorítmicos.

b) Tienen la ventaja de servir como una valiosa herramienta computacional que permite suplantar, complementar o apoyar ciertas funciones humanas, cuya realización suele dificultarse ya que (Heragu & Kusiak 1987):

- La expertez humana es un recurso escaso.

- Los humanos por naturaleza se cansan u olvidan.

- Los humanos pueden tener días malos

- Los humanos no pueden comprender, visualizar, diferir, retener o recordar grandes cantidades de datos.

c) La rapidez para obtener resultados y la capacidad de poder almacenar en una forma ordenada los casos resueltos permiten analizar una mayor cantidad de información que incluso sirve al experto para la creación de conocimiento nuevo.

d) Se tiende al aumento de la productividad del conocimiento experto al relevar a especialistas de tareas repetitivas, y así aprovechar sus capacidades intelectuales en asuntos más creativos.

El formato de presentación de los sistemas expertos permite destacar otra serie de ventajas como :

Autonomía: Una vez que el experto ha plasmado su conocimiento el SE es capaz de actuar aún sin la presencia física del experto.

Reproducibilidad: El SE en sí y el conocimiento incluido, son reproducidos a voluntad de su diseñador, por lo que el producto puede reproducirse y transmitirse en una forma accesible a una

gran cantidad de usuarios

Bajo costo de adquisición y mantenimiento: El desarrollo de la tecnología de los SE, hace que sean cada vez más económicos en cuanto a su costo de diseño, construcción y mantenimiento.

Sin embargo, algunos autores creen que en el futuro los problemas en ingeniería se originarán por el uso erróneo de las computadoras debido a (García y De Buen 1991) :

- 1) El uso de sistemas defectuosos o no, por ingenieros sin mínima experiencia;
- 2) La tentación de Ingenieros competentes por incursionar en áreas fuera de su especialidad o dominio;
- 3) Que la apariencia compleja de los SE influya de manera negativa en la seguridad o confianza de los Ingenieros y ello derive en el sacrificio del sentido común y el buen juicio Ingenieril.

CONCLUSIONES

La aplicación de los SE continúa extendiéndose varios a varios de los campos de la ingeniería civil, al parecer ésta es una muestra palpable de la importancia que están adquiriendo los SE. En este capítulo se mostrarán las características más sobresalientes de los SE, así como sus restricciones.

En la actualidad varias universidades, compañías privadas y organismos de gobierno principalmente en Estados Unidos y Europa han impulsado de manera importante el desarrollo de la Inteligencia Artificial y de los SE en varias ramas de la ingeniería civil. Se piensa que este desarrollo, modificará el estado de la práctica de la ingeniería en los noventas, particularmente en lo relativo a la documentación, transferencia, preservación y manejo del conocimiento. Adicionalmente se espera que la combinación de los SE con diversas técnicas como la

programación orientada a objetos puedan ofrecer otros beneficios como la consideración sistemática de todos los hechos relevantes para alcanzar objetivos específicos, el uso potencial de varios campos y niveles de experiencia, la habilidad para resolver y aclarar fenómenos que contienen los problemas y la aproximación a una mejor utilización del conocimiento experto vital en todos los campos de la Ingeniería .

El concepto IDS muestra como los SE, aplicados a la Ingeniería, conducen a una mejor utilización del conocimiento, haciendo más eficiente el proceso de toma de decisiones gracias al estudio más profundo y variado de los escenarios y a la posibilidad de tener en cuenta criterios más diversos.

Finalmente, es importante mencionar que los trabajos previos a la implantación del SE constituyen una valiosa forma de analizar y resolver problemas específicos Por sí mismo esto constituye una fuente de conocimiento invaluable ya que durante este proceso es posible, por ejemplo, identificar lagunas en el conocimiento lo que nos ayuda a orientar de mejor manera el desarrollo de investigaciones futuras.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

Benchímol G et al (1989). Los Sistemas Expertos en la Empresa. Macrobit, Miami:Florida

García R & De Buen P.(1991) , "*Aplicación de los sistemas expertos y de las microcomputadoras en la Ingeniería estructural*". Revista de la Facultad de Ingeniería . UNAM. Enero

Heragu S & A Kusiak , "*Analysis of Expert Systems in manufacturing*".IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-17, NO. 6 ,Nov/Dec 1987.

Lara , R F & Gelman G(1993) "*Métodos y modelos de la ingeniería del conocimiento para sistemas expertos*", Informe técnico .Instituto de Ingeniería, UNAM

Maher M L, ed (1987) "*Expert Systems for Civil Engineers:Technology and Application* ", A.S.C.E : New York

Saldaña A H , "*Sistemas Expertos en Ingeniería*",Centro de investigación y de estudios avanzados del IPN, serie amarilla , Informe Técnico no. 30, Nov 29 1985.

Santamarina J C & Chameau J L (1989) , "*knowledge -Based System for Soil Improvement*", Journal of computing in civil engineering, ASCE: New York

Santamarina & Chameau (1990). "*Fuzzy windows and classification systems*", Int. J. Man-Machine Studies. No. 32 pp 187-201.

Simonovic S P & Dragan A S , "*Intelligent Decision Support and Reservoir Management and Operations*",Journal of Computing in civil Engineering, ASCE : New York , vol. 3, no. 4 ,octubre 1989.

Terán , C A & Gutiérrez C H E .(1990), "*Sistemas Expertos en la geotecnia*". Ponencia presentada en el 1er Simposium de la informática aplicada a la geotecnia. Instituto de Ingeniería, UNAM.

CAPITULO

B.SISTEMAS EXPERTOS Y GEOTECNIA.

INTRODUCCION

La necesidad de hacer más eficientes los procesos y procedimientos geotécnicos, con el fin de dar solución a los complejos problemas que se presentan en la práctica actual de la geotecnia, aunado a las características propias del conocimiento en este campo de la Ingeniería, hacen atractivo el uso de las nuevas herramientas computacionales como los Sistemas Expertos(SE).

El objetivo de los SE es coadyudar a mejorar el proceso de toma de decisiones a través del uso eficiente del conocimiento teórico experimental y experto. Particularmente, en la geotecnia se justifica su uso debido a que las teorías científicas, las técnicas analíticas y los métodos experimentales proveen sólo una fracción de los elementos requeridos para dar soluciones; siendo la experiencia y la intuición los factores importantes y muchas veces decisivos en la toma de decisiones.

En este capítulo se señala de manera genérica las aplicabilidad de los SE en algunas áreas de la geotecnia. Además, se presenta la estructura general de un SE adecuado a las características del conocimiento geotécnico en nuestro país y finalmente se dan conclusiones acerca del impacto que podría tener su aplicación en la geotecnia.

B.1) CARACTERISTICAS DEL CONOCIMIENTO GEOTECNICO

El ingeniero geotecnista trata con un medio, el suelo, compuesto por agua, sólidos y gases. Su comportamiento está regido no solo por la forma en que varían y están estructurados en los diferentes tipos de suelos, también por la heterogeneidad de las condiciones locales y específicas de cada zona (geología del lugar, sismicidad de la zona, la topografía, el clima ect.). Las variantes que puede haber en cada tipo de suelo hacen difícil construir un modelo teórico de comportamiento. Imaginemos tan sólo las diferencias substanciales entre el comportamiento de partículas sólidas pequeñas y el de grandes masas de roca.

La otra variable que influye notablemente en la complejidad del conocimiento geotécnico es el tiempo. La mayoría de los suelos son sistemas de tres fases, es decir, agua, suelo y aire, cuyas propiedades varían en forma significativa con el tiempo.

Ante la dificultad de obtener una teoría única y general para comprender el comportamiento de los suelos atendiendo a conceptos puramente matemáticos de la mecánica clásica, surgió la necesidad de recurrir al método experimental (ensayando en el laboratorio muestras representativas del terreno). Además, Karl Terzaghi demostró que no basta con el conocimiento teórico y experimental, también debe recurrirse a la experiencia práctica en campo para detectar lo que llamó "pequeños detalles geológicos".

La desventaja del método de experimentación en laboratorio radica en que las muestras obtenidas en un punto ó puntos se usan como "representativas" de toda la zona de estudio, además de que los métodos de muestreo no garantizan la completa inalterabilidad de las muestras. Ello evidentemente puede conducir a imprecisiones en los resultados obtenidos debido a la heterogeneidad del suelo.

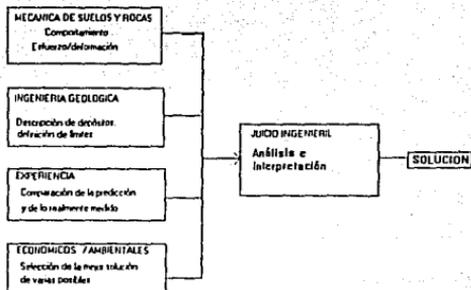
De lo anterior se desprende la necesidad de crear nuevos métodos para conocer las propiedades de los suelos en campo, directos e indirectos, que sean confiables, rápidos y seguros. Sin embargo los métodos de investigación en campo tienen la desventaja de que los datos obtenidos a través de instrumentos tienen que pasar por un proceso de interpretación, algunas veces nada sencillo que de no realizarse por un ingeniero con experiencia, puede acarrear impresiones en los resultados inferidos.

En resumen, la práctica de la geotecnia enfrenta una serie de dificultades tales como:

- a) Escasez o insuficiencia de información
- b) Incertidumbre en la información disponible.
- c) Gran diversidad de fenómenos y variables que intervienen en el comportamiento de los suelos.
- e) La presentación de condiciones y situaciones imprevistas en el campo.
- f) La complejidad de los problemas.
- g) La existencia de teorías fundamentadas en criterios y condiciones de aplicación muy específicos

Ello obliga a que la solución de problemas se base en la combinación en mayor o menor grado de los siguientes elementos (FIG. 3.1) :

- teorías científicas y técnicas analíticas
- métodos experimentales de campo y laboratorio.
- experiencia , juicio y sentido común.



**FIG. 3.1 FACTORES EN LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN
GEOTECNIA**

La práctica de la geotecnia en el caso concreto de nuestro país, enfrenta una serie de problemas peculiares, entre los cuales destacan:

- La escasez de profesionales de alta calificación
- La inadecuada distribución de profesionales calificados en el país.
- El alto costo de la transferencia de conocimiento y de capacitación.
- La necesidad de actualizar el conocimiento de los profesionistas que trabajan normalmente en este campo del conocimiento

De lo anterior observamos que la geotecnia posee una serie de características peculiares que hacen que el conocimiento de los expertos sea insustituible.

B.2) APLICACIONES DE LOS SE EN LA GEOTECNIA

El problema de la selección de alternativas.

La Geotecnia junto con la construcción es una de las ramas de la ingeniería civil que más se ha reconocido para aplicar la tecnología de los SE (Santamarina & Chameau 1987). Actualmente se han identificado aproximadamente 39 SE con aplicación a la geotecnia en una diversidad de temas como: clasificación de suelos, selección del tipo de exploración, diagnóstico de problemas de filtración en presas, análisis de problemas de estabilidad de taludes, análisis de riesgo sísmico, diseño de muros de contención, programación de sondeos en el fondo marino, análisis geotécnico de sitios con problemas ambientales.

Un tipo de problemas atractivos para ser resueltos a través de SE, se refiere a la selección de la mejor opción de una serie de alternativas; algunos de estos son: (Santamarina y Chameau 1987):

- Selección del tipo de cimentación.
- Selección del método de mejoramiento de suelos
- Clasificación de suelos y rocas.
- Especificación de la instrumentación a utilizar en campo; planeación del programa de investigación "in situ" etc.

Los problemas en los que se tiene que elegir una opción de una serie de alternativas a través del análisis de sus atributos y limitantes, son frecuentes no sólo en geotecnia sino en todas las ramas de la ingeniería civil. Santamarina y Chameau han diseñado un concepto que permiten trabajar con el conocimiento, sus atributos y la incertidumbre inherente a ellos en un solo elemento llamado "windows" (ver capítulo A), que permite mejorar el proceso de selección a través del uso de SE.

Utilidad del concepto AISD en el proceso de interpretación

De la revisión del tipo de tareas que pueden ser resueltas a través de los SE, una que presente un interés especial por la importancia que tendrá en el desarrollo futuro de la geotecnia se refiere a la interpretación de datos obtenidos en campo y laboratorio.

En la actualidad se han desarrollado una serie de técnicas para obtener información del suelo en forma indirecta: técnicas sensoriales, imágenes ópticas, métodos de procesamiento de señales, conductividad magnética del suelo ect, que tienen la ventaja de ser sensibles a las condiciones existentes y de proporcionar información de difícil interpretación, ya sea por la forma en que se obtiene del instrumento, por la cantidad ó por la necesidad de considerar las características geológicas del sitio de medición y el propio ambiente de medición.

AISD Automated Interpretation for Sensing in situ conDitions (Maser 1988) es un método para automatizar la interpretación de la gran cantidad de datos que los sensores producen. AISD lleva a cabo esta automatización mediante la codificación de la experiencia y del juicio que normalmente se requieren para la interpretación de las señales que producen los sensores. También considera el ambiente de medición y las características del sitio, usando las técnicas de representación del conocimiento y de la inferencia desarrollados en el campo de los sistemas expertos (FIG. 3.2a y 3.2 b).

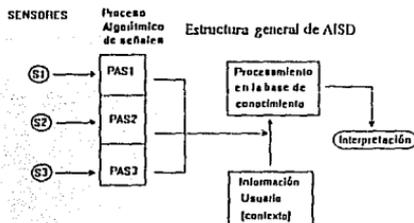


FIGURA 3.2 a.

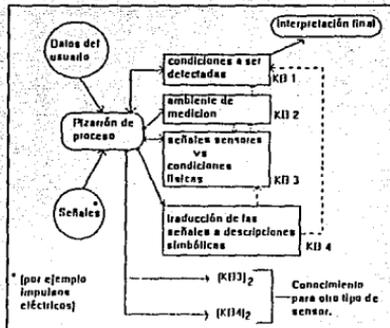


FIG.3.2b ESTRUCTURA DEL CONOCIMIENTO DE AISD

APLICACIONES GENERALES

A continuación se describen las aplicaciones de los SE en otras áreas de la ingeniería geotécnica.

Mecánica de suelos e Ingeniería de cimentaciones .

El desarrollo potencial en estas áreas está enfocado a:

1.-reconocimiento geotécnico y diseño del programa de exploración.

Las consecuencias de un inadecuado o insuficiente conocimiento del sitio donde se pretende llevar a cabo alguna obra, puede ocasionar desastres o cambios costosos en el proyecto. Por ello es importante definir la naturaleza de las propiedades del sitio considerando los factores geológicos, geotécnicos, morfológicos, hidrológicos ect. El sitio puede ser caracterizado por un proceso de tres pasos:

- 1.-Estratigrafía superficial: exploración de la superficie y muestreo.
- 2.-Pruebas de laboratorio: determinación de las propiedades físicas de los materiales y se estudia el comportamiento de la estructura bajo las cargas de trabajo.

3.-Evaluación.- Los datos obtenidos en los pasos 1 y 2 se evalúan a la luz de la experiencia de los Ingenieros en la praxis o a través de algunas reglas enunciadas por expertos en el area.

Estos tres pasos demandan considerable experiencia de los ingenieros y su juicio es crucial en el proyecto.

Una de las tareas en las que puede actuar un SE es la de planear un programa de exploración adecuado. Este puede ser llevada a cabo por los siguientes pasos:

- 1.-Reconocimiento geológico.
- 2.-Reconocimiento del sitio.
- 3.-Definición del programa.

El conocimiento conduce a establecer reglas del tipo:

Regla 001⁽¹⁾

Si las condiciones del suelo son uniformes

Entonces el espaciamiento de 400 pies es el adecuado (entre cada sondeo)

La experiencia de los ingenieros y geólogos tiene varios orígenes, y puede ser almacenada en la forma de bases de conocimiento de un sistema experto para ayudar en el diseño de un programa de exploración.

Después de la exploración geotécnica sigue la clasificación de las muestras obtenidas de los sondeos. Esta clasificación se hace con base en el SUCS (Sistemas Unificadas de Clasificación de Suelos), el cual es un documento en que se encuentran codificadas una serie de reglas obtenidas de la experiencia. Una forma que adoptarían este tipo de reglas es la siguiente :

⁽¹⁾Todas las reglas y los factores de certidumbre estan referidas en (Siram y Maher1985)

Regla 002

Si el material pasa la malla no. 200

y el límite líquido es de 50%

y el índice de plasticidad es de 20%

Entonces el suelo es una arcilla orgánica con un FC = 0.60

OR el suelo es una arcilla inorgánica con un FC = 0.70

Los factores de confianza pueden ser modificados y perfeccionados de acuerdo con el proceso de inferencia y el tipo de representación del conocimiento.

2.-Determinación de las propiedades de los suelos.

Las propiedades de los suelos pueden variar significativamente de un punto a otro en la masa del suelo; asimismo el método de ensayo influye en el valor de la propiedad que estamos midiendo. Tomemos como ejemplo la determinación del módulo de Young. Según se ve en la tabla 1.3; el valor varía de un tipo de ensayo a otro. Sin embargo, existen criterios que tienen su origen en el conocimiento mismo de las características de la muestra (origen, alteración etc.) y de los diferentes tipos de ensayo que ayudan a seleccionar el valor más apropiado.

PRUEBA	RANGO DE PRESION	E_s
	lb/in	lb/in ²
Ensaye con placa cuadrada(24in)	0-28	1110
Placa circular(18 in)	0-25	1360
Viga rígida(8" WT)	0-14.3	1160
	15 (Lateral)	1175
Triaxial(4 in)	30(Lateral)	1200
	60(Lateral)	1420

TABLA 1.3. Determinación del Módulo de Young

Se pueden encontrar muchos ejemplo como éste en geotecnia. La experiencia de Ingenieros en la determinación de las propiedades de los suelos, puede servir para desarrollar un SE que auxilie a los Ingenieros poco experimentados en esta tarea.

3.-Análisis de modelos de los suelos.

El uso de los SE serviría aquí para ayudar al geotecnista en la selección, a través del análisis, de las ventajas y desventajas, del modelo de suelo requerido para hacer diversos tipos de análisis.

Existen una serie de modelos que tratan de representar el comportamiento del suelo (métodos elásticos, plásticos, poroelásticos, entre otros que a su vez se dividen en submodelos como:el submodelo plástico de Mohr Coulomb, ó el de estados críticos). El criterio de aplicación de cada método no está bien definido ya que para un mismo suelo pueden existir ingenieros que elijan un método diferente.

Reglas como la siguiente pueden ser establecidas:

Regla003

Si el suelo es una arcilla

Entonces un modelo de estado crítico debe ser preferible para el análisis

El análisis de la estabilidad de taludes es un área que también se presenta atractiva para ser manejada mediante SE. Shuster, investigador británico, elaboró una serie de guías, a partir de años de experiencia para el reconocimiento e identificación riesgos por fallas en taludes a partir de la observación de ciertos detalles de tipo geológico y geotécnico del lugar (Shuster 1978). Con base en estas investigaciones en Inglaterra se desarrollo un SE para realizar esta tarea (Ver capítulo C), en una zona del sur de Gales que tenía enormes problemas con los deslizamientos de tierras. El sistema clasifica el grado de riesgo de un talud, y a partir de ahí determina las medidas adecuadas para evitar el riesgo .

4.-Seguridad geotécnica (planeación, control y monitoreo)

La necesidad de construir obras de grandes dimensiones (presas, plantas nucleares, estructuras fuera de costa etc) con considerables costos en su construcción y operación, y el riesgo que implica la falla de alguna de éstas motivan que sólo se construyan aquellas cuyo diseño garantice que el riesgo de falla sea mínimo ó, en su defecto, que exista un programa de monitoreo y seguridad adecuado para evitar contingencias .

Investigadores del Instituto Tecnológico de Masachusset (Lambe 1981) desarrollaron un programa de seguridad que contempla los siguientes aspectos:

- 1.-Determinar el grado de seguridad en las construcciones (en sus aspectos geotécnicos)

2.-Ayudar a mantener un predeterminado grado de seguridad en la obra durante su construcción y a lo largo de su vida útil.

3.-Proporcionar las bases técnicas para permitir la adecuación de las instalaciones para obtener un mayor grado de seguridad.

Este programa a su vez está dividido en los siguientes componentes

1. Criterio de ejecución
2. Evaluación del diseño.
3. Ejecución de la evaluación
4. Sistematización de la instrumentación en campo.
5. Vigilancia
6. Evaluación de la ejecución
7. Evaluación de la Seguridad
8. Medición de los remedios
9. Formulación de planes de contingencia

La forma en que se abordan los nueve componentes se discute en la investigación realizada por el MIT (*Lambe et al 1981*). Sin embargo, el desarrollo potencial de estos componentes puede ser organizado eficazmente. Por ejemplo, para la evaluación del diseño de una presa se pueden establecer reglas tales como:

Regla 004

**Si el criterio de deformación es satisfactorio
y el criterio de estabilidad es satisfecho
y la filtración está debajo de un valor crítico**

y no se excede la capacidad de lluvia

Entonces el diseño es satisfactorio

SE pueden ser diseñados para diferentes tipos de estructuras y para otros componentes del programa. Un SE trabajando junto con un sistema de control permitiría detectar una falla en el momento mismo que sucede y tomar medidas adecuadas para corregirla.

Otro ejemplo dentro del área de seguridad geotécnica lo constituye el estudio del potencial sísmico de una zona. La ocurrencia y la magnitud de un sismo es un proceso que en la actualidad no es posible predecir.

La estimación del riesgo sísmico debe estar basado en:

- 1) La historia sísmica de la región
- 2) La evidencia geológica del pasado y del presente en la corteza terrestre

Los procedimientos actuales para la evaluación del riesgo sísmico, varían desde métodos puramente intuitivos a los puramente estadísticos. De esta forma los ingenieros asistidos por el juicio profesional de un sismólogo y de un geólogo plasmado en un SE, pueden sintetizar los datos históricos y la información geológica para evaluar el potencial sísmico de una región.

Después de los sismos de 1985 en la ciudad de México, se hizo necesario diseñar un sistema de alarma sísmica para mitigar los efectos de grandes sismos. La idea es que a partir de la interpretación de las señales generadas por una serie de instrumentos colocados cerca del origen posible del sismo, se diagnostique la ocurrencia de sismos que pusieran en riesgo la seguridad de las personas que habitan el valle de México. La interpretación tiene que ser por tanto en tiempo real para que la alarma sea efectiva.

5.-Diseño:

Debido a que en el diseño geotécnico no existen reglas únicas, la amplitud en la toma de decisiones es considerable. Por ello la experiencia y el sentido común determinan en gran medida la selección de la mejor alternativa de las múltiples posibles, atendiendo claro a las restricciones que para tal efecto se tengan establecidas.

6.-Aplicación de la geotecnia en la construcción.

La documentación y transferencia del conocimiento experto en forma eficiente podría llegar a tener un gran impacto en la planeación y prevención de los problemas geotécnicos que se presentan en la construcción. El desarrollo de SE para esto fin podría ayudar a prever los problemas que pueden presentarse en relación a los suelos (con la información proporcionada por los estudios geotécnicos) y sugerir los medios basados en la experiencia para afrontar las dificultades que se presenten durante el proceso constructivo.

7.-Enseñanza de la geotecnia

De acuerdo con muchas opiniones, esta sería la aplicación más general de los SE ya que podría ayudar a optimizar el aprendizaje de los estudiantes. Así, un estudiante para un problema en particular podría tomar una decisión, verificar su respuesta con la del sistema, preguntar al sistema los razonamientos que utilizó y pedir una explicación al respecto, e incluso preguntar al sistema por qué no adopto otra solución. El proceso anterior ayudaría al estudiante a formar un criterio propio, pero apoyado en la experiencia y el conocimiento existente. Actualmente se esta desarrollando el concepto de sistemas tutoriales inteligentes que tienen el objetivo de educar, tomando en cuenta técnicas y procedimientos pedagógicos.

El potencial de aplicación de los SE en geotecnia como vemos es amplio. La eficiencia de las aplicaciones y su utilidad dentro de la práctica, dependerá de:

- La creatividad de los diseñadores de los SE
- El desarrollo de técnicas y procedimientos científicos para manejar y representar el conocimiento experto y:
- Del desarrollo propio de esta rama del conocimiento.

Finalmente sería importante explorar la posibilidad de aplicar los SE a problemas que involucren procesos estocásticos.

B.3) ARQUITECTURA DE UN SE PARA LA GEOTECNIA.

La geotecnia en México suele practicarse por profesionales con niveles de calificación muy disímiles. Por ello se propone una arquitectura de SE estructurado de la siguiente manera (Terán y Gutiérrez 1990).

Tutorial: es la parte dedicada a la capacitación del usuario sobre el tema específico que constituye el dominio del SE.

Asesor: se dedica a proporcionar al usuario la información y orientación requerida a manera de guía, para resolver un problema determinado.

La parte experta: que es capaz de resolver problemas específicos, consta de dos partes interrelacionadas de forma interactiva:

- a) *La rectora.* En ella está incorporada la experiencia y el juicio ingenieril.
- b) *La de soporte.* Incorpora un conjunto de técnicas, procedimientos y algoritmos específicos para el problema en cuestión y que suele estar direccionada por la parte rectora que es la misma que evalúa sus resultados y conclusiones.

Esta arquitectura deberá, por otro, lado tener presente la peculiaridad y el manejo de la Incertidumbre en el conocimiento geotécnico. Para lograr una adecuada representación y manejo del conocimiento dentro del Sistema Experto, este debe enfocarse al tipo de problema en particular y a las técnicas y métodos que para tal fin se han desarrollado en el campo de la Inteligencia Artificial.

CONCLUSIONES

El uso de las técnicas y métodos de los SE para ayudar a resolver problemas en la Ingeniería es relativamente nuevo. Sin embargo, las ventajas que se pueden obtener de su utilización han despertado el Interés de investigadores e Ingenieros.

En resumen, podemos decir que existen 5 ventajas principales para el uso de los SE en geotecnia:

- 1.** El manejo de la incertidumbre por los SE. Esta característica es primordial ya que gran parte del conocimiento geotécnico es incierto. Las técnicas desarrolladas en el campo de los SE proporcionan métodos que permiten manejar en forma más eficiente y racional este tipo de conocimiento; por ejemplo, mediante lógica difusa, windows, lógica bayesiana.
- 2.** El uso de un mismo sistema de diversos dominios de conocimiento. La solución integral de diversos problemas en geotecnia involucra, además de conocimiento geotécnico, conocimiento geológico, geofísico, químico, de sistemas, económico, entre otros.
- 3.** El manejo de conocimiento de diversas fuentes; por ejemplo, de teorías de análisis matemático, de conocimiento experimental y finalmente el conocimiento experto, que permite

Incorporar a la práctica nuevos conocimientos que anteriormente no se utilizaban por desconocimiento o por inercias en el medio.

4. La idea de que el propio sistema se convierta en un medio para documentar y transferir en forma eficiente el conocimiento geotécnico. (hay que recordar que otra característica de los SE es la dinámica que deben de tener para actualizarse en su conocimiento).

5. Finalmente, la enorme ayuda que podrían brindar los SE para resolver problemas, por la rapidez y la eficiencia para realizar búsquedas exhaustivas adecuadas a los requerimientos del usuario y para manejar grandes cantidades de datos gracias al uso de los sistemas de cómputo moderno.

Otro elemento lo constituyen los nuevos campo de aplicación de los SE. Se vislumbra una tendencia a nivel mundial en el desarrollo de Sistemas de adquisición automática de datos geotécnicos, los cuales tienen el propósito de hacer más eficiente el proceso de adquisición, manejo y procesamiento de la gran cantidad de información que se genera todos los días en los proyectos y trabajos de investigación

La creación de un Sistema Experto es una labor sumamente compleja y creativa, por ello las ventajas arriba mencionadas dependen en gran medida del proceso previo de diseño e implantación del sistema. Sin embargo el proceso mismo de creación de un SE, es una metodología valiosa, en si misma y útil para resolver problemas.

En cuanto al futuro de la aplicación de los SE en la geotecnia, podemos ser optimistas por las amplias perspectivas de desarrollo de la propia geotecnia, y por los avances en el campo de los SE mismos que van acompañados de los progresos que en materia de Inteligencia artificial se siguen realizando.

Finalmente es interesante resaltar que la tecnología de los SE, no es costosa ni compleja en su implantación (de hecho existe una enorme variedad de herramientas para este fin en el mercado), por lo que su desarrollo tiene un excelente potencial en países en desarrollo, como México.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

- García R F & de Buen R P (1991) *Aplicación de los Sistemas Expertos y de las microcomputadoras en la ingeniería estructural*. Revista de Ingeniería, Facultad de Ingeniería UNAM. Enero
- Gabriel Auvinet (1991) *Geotechnical Properties*. Reporte General, Sixth International Conference On Applications of Statistics And Probability In Civil Engineering. Mexico
- Heragus S & Kusiak A (1987) *Análisis of Expert Systems in manufacturing*. IEEE Trans. on System y cibernética, vol. SMC-17, No. 6.
- Lambe W T (1981). *Safety of a constructed Facility :Geotechnical Aspects*. ASCE *Journal of the Geotechnical Division*, New York 1981.
- Lara, R F & Gelman G (1989) *Métodos y modelos de la ingeniería del conocimiento para sistemas expertos*, Informe técnico. Instituto de Ingeniería, UNAM
- Maser K R (1988) *Automated Interpretation for Sensing In Situ Conditions*. Journal of computing in civil Engineering, vol. 2, no. 3
- Santamarina J C. y Chameau L. J (1987) *Expert Systems for geotechnical engineers*, Journal of computing in civil engineering, vol. 1, no. 4
- Schuster R L ed (1978) *Landslides: Analysis and control*. Technical Report Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Sriram D. et al (1985) *Expert Systems for civil Engineering- A Survey*, Informe Técnico R-82-137, University Carnegie-Mellon.
- Terán C A & Gutiérrez C (1990), *Sistemas Expertos en la geotecnia*. Ponencia presentada en el 1^{er} Simposium de la informática aplicada a la geotecnia. Instituto de Ingeniería, UNAM.

CAPITULO

C. ESTADO DEL ARTE DE LOS S. E. EN LA GEOTECNIA

INTRODUCCION

La geotecnia fue una de las primeras áreas de la ingeniería civil en la que se utilizó la tecnología de los Sistemas Experto (SE) para hacer más eficiente el uso del conocimiento. Sistemas tales como PROSPECTOR (Saldaña 1985) desarrollado en la época de los 70'S, marcaron el inicio de las aplicaciones de los SE en temas relacionados con el subsuelo. Prospector cobró fama por que gracias a él se pudo descubrir un depósito de molibdeno valuado en 100 millones de dólares. A partir de este momento el desarrollo de aplicaciones de esta tecnología ha sido cada vez mayor tanto cuantitativamente como cualitativamente, tal como lo muestran las características de los 39 SE que se han desarrollado en geotecnia.

En este capítulo se presenta el estado del arte de la aplicación de los SE en la Geotecnia [1975-1990] y su ubicación dentro del desarrollo general de esta rama de la ingeniería civil. Se analizan estadísticamente los resultados obtenidos de esta investigación y se concluye con comentarios generales acerca de las perspectivas de desarrollo de los SE en esta rama del conocimiento.

C.1) LOS SE Y EL DESARROLLO GENERAL DE LA GEOTECNIA.

El desarrollo de la geotecnia.

Actualmente el estudio de los suelos es, dentro de la ingeniería civil, una de las ramas con mayores potencialidades de desarrollo. Ello es digno de tomarse en cuenta si consideramos que no fue sino hasta la década de los 20's con los trabajos pioneros del Dr. Karl Terzaghi, que la Mecánica de suelos se establece como una disciplina formal (aún no presente el estudio de las rocas), con el objetivo de estudiar y resolver problemas relacionados con el suelo, en los cuales los conocimientos anteriores, tanto de estudios del propio suelo como de la mecánica clásica, habían resultado insuficientes.

En la actualidad las aplicaciones de los SE que se han dado en el campo de la geotecnia están muy relacionadas con los objetivos de desarrollo que actualmente y a futuro se han propuesto en este campo del conocimiento :

- ❖ Reducir costos de construcción para grandes y pequeños proyectos (mejoramiento de los procedimientos geotécnicos relacionados con la tecnología de la construcción)
- ❖ Desarrollo de una tecnología que pueda racionalizar el tratamiento y rehabilitación de infraestructura y de estructuras viejas.
- ❖ Mejorar y desarrollar métodos (analíticos y experimentales) para la obtención e interpretación de las propiedades mecánicas y dinámicas de los suelos "in situ" y en laboratorio.

❖ **Desarrollo de la investigación en nuevos campos tales como:**

Geotecnología ambiental (selección diseño y construcción de lugares que sirvan como depósitos de desechos peligrosos), geodinámica, Instrumentos para mejorar los ensayos "in situ", mejoramiento de suelos, suelos artificiales, simulación por computadora, mecánica de suelos para ambientes oceánicos glaciales y subterráneos ect..

❖ **Desarrollos que impliquen el adecuado uso del suelo en el tratamiento de de desechos no tóxicos**

❖ **Desarrollo de metodologías para el adecuado entendimiento de los fenómenos sísmicos, con miras a aumentar la seguridad de las estructuras y evitar en lo posible los daños producidos por sismos.**

❖ **Trabajar en los procesos de instrucción y enseñanza de las futuras y actuales generaciones de ingenieros geotécnicos, con el objetivo de que sean capaces de implantar soluciones creativas y estrategias innovadoras necesarias para resolver el tipo de problemas que actualmente se presentan.**

C.2) ESTADO DEL ARTE DE LOS SE EN LA GEOTECNIA

Desarrollo histórico.

En esta sección se presenta el estado del arte de la aplicación de los SE en la geotecnia. En el apéndice 1 se presentan algunas de las características más importantes de los 39 sistemas estudiados. A manera de ejemplo se incluye una reseña más detallada de aquellos sistemas que se considerarán más importantes y su respectiva referencia que se puede consultar para adquirir

información complementaria.

PROSPECTOR, del cual ya hablamos en la introducción fue utilizado para exploración geológica y su función principal es la interpretación probabilística de datos de depósitos geológicos y de suelos, con el objeto de predecir la existencia de depósitos de minerales valiosos. PROSPECTOR fue desarrollado por el SRI (Stanford Research Institute) y actualmente tiene más de 1000 reglas en su base de conocimiento

Después del éxito de PROSPECTOR se desarrollaron :

LITHO (Saldaña 1985) en Francia, con el propósito de ser un sistema de reconocimiento de patrones para la interpretación de datos de pozos petroleros. Este sistema proporciona una descripción de las rocas encontradas en un pozo y su base de conocimiento consta de 500 reglas; y the Drilling Advisor (Saldaña 1985) el cual es un sistema para diagnosticar problemas en los mecanismos de barrenado durante la perforación de pozos, cuenta actualmente con 250 reglas en su base de conocimiento..

En 1984 después del breve receso que impuso el perfeccionamiento de la tecnología de los SE, se desarrolla: A Rule Based Approach to Geological Knowledge (Saldaña 1985) y SIES (Saldaña 1985), el primero está implantado en el lenguaje PROLOG y está formado por dos bases de conocimiento. Una de ellas es la que utiliza PROSPECTOR (con lo que se demuestra la versatilidad de las bases de conocimiento) y la otra fue escrita por un experto especialista en la determinación de sitios para la construcción de presas; el segundo sistema se emplea en la prospección geológica subterránea y para definir las características litológicas del terreno con ayuda de la información sísmica de la zona; su característica principal es que la representación del conocimiento se hace a través de una serie de niveles múltiples e independientes entre sí a los cuales se puede tener acceso en forma directa.

CESSUL (*Laurent 1984*) diseñado en 1984, fue el primer sistema que vislumbró las aplicaciones de los SE en la geotecnia en un nivel mayor, su objetivo fue servir como asesor en la planeación y especificación del tipo de investigación geotécnica requerida en edificaciones.

1985 fue un año muy importante para el desarrollo de los SE en la geotecnia, y en general en la Ingeniería civil. En ese año surge CONE (*Siller 1987*), creado en la Universidad de Carnegie-Mellon para interpretar los datos del método de exploración geotécnica conocido como cono eléctrico (CPT).

La concepción de CONE parte del análisis del proceso de interpretación de los datos del cono eléctrico, el cual tiene siguientes características :

- 1) Maneja dos tipos de datos: lingüísticos (para clasificación de suelos) y numéricos (para el cálculo de la resistencia al corte de los suelos).
- 2) Presenta dos orígenes de incertidumbre: variabilidad estadística en los datos y vaguedad en los métodos utilizados.
- 3) Utiliza métodos analíticos y empíricos para la clasificación del material y para la definición de la resistencia al corte de los suelos .

Otro sistema desarrollado en 1985 fue SITECHAR (*Rehak 1985*), cuyo objetivo fue la caracterización de sitios; SITECHAR se utiliza para desarrollar modelos tridimensionales de las condiciones del subsuelo para su uso en el diseño de cimentaciones .

SITECHAR toma los datos de entrada del aparato y equipo de muestreo conectados a una computadora. A partir de esos datos desarrolla un modelo global del sitio por inferencia. El conocimiento está representado por FRAMES y maneja la incertidumbre con factores de

certidumbre.

En 1985 se abre a la aplicación de los SE en la geotecnia, un campo poco estudiado; la investigación del subsuelo marino. Esta investigación fue patrocinada por el programa de sondeos marinos de la universidad de Texas. La función de este programa es utilizar las técnicas desarrolladas en el campo de los SE para auxiliar al personal sin experiencia en las actividades científicas de exploración del subsuelo marino (*Niedzwecki* 1985).

En forma similar, es creado en 1985 RETWALL (*Siller* 1987) en la universidad de Sidney, Australia. Su objetivo es auxiliar al ingeniero en la selección del tipo de muro de retención requerido por las condiciones del terreno. RETWALL fue construido con el shell* BUILD, utiliza encadenamiento hacia adelante como mecanismo de inferencia y reglas en su base de conocimiento.

En 1986 se incorpora al mercado de los SE el sistema Shallow-Trenches (*Siller* 1987), desarrollado en la universidad de Carnegie-Mellon. El dominio de este sistema son las excavaciones poco profunda (zanjas) y su objetivo es auxiliar al ingeniero constructor de zanjas en la selección del método constructivo que de seguridad a la obra, de acuerdo a criterios geotécnicos convenientes.

También se se crea SOILCON (*Siller* 1987) el cual es un prototipo desarrollado por M. Wharry y D. Astley en la Universidad de Austin Texas. Su dominio se refiere a la planeación cualitativa y cuantitativa de la investigación geotécnica in situ.

Partiendo de la idea de que una de las tareas más importantes en la construcción de una

* SHELL : Ambiente de programación para crear SE

estructura es la evaluación de las condiciones del subsuelo, y que depende de las características de la estructura y de la información disponible y útil del lugar. SOILCON desarrolla en su base de conocimiento pequeñas sub-bases que incorporan esta información

Este prototipo fue desarrollado en un shell llamado M1 que tiene las siguientes características; estrategia de control a base de encadenamiento hacia atrás (backward-chaining) y una base de conocimiento formada por reglas de producción.

El sistema comienza por preguntar al usuario por el proyecto preliminar y por la información disponible de la obra. A continuación se aplica un segundo nivel de preguntas, dependiendo de las respuestas dadas en el primer nivel. Finalmente infiere el tipo de investigación requerida.

El sistema contiene cerca de 24 técnicas de investigación que van desde las muy preliminares, tales como revisión de mapas topográficos, hasta técnicas más elaboradas. Uno de los defectos identificados en el sistema es su inhabilidad para tomar descripciones geométricas y para manejar datos cuantitativos de la magnitud de la obra. Este sistema está clasificado como un prototipo en desarrollo (sistema en proceso de ser mejorado)

Por último, en este año se desarrolla un SE (Pearse 1986), para evaluar las alternativas de ubicación de carreteras que toma en cuenta las características geológicas y geotécnicas de las zonas por donde pasan cada una de las alternativas; y un sistema para evaluar la estabilidad en minas (Scoble 1986).

En 1987 se dan a conocer una serie de trabajos desarrollados por Investigadores de la Universidad de Purdue :

PILE (*Santamarina* 1987), fue un prototipo desarrollado por Santamarina y Chameau con la tarea de seleccionar de una serie de alternativas el tipo de cimentación profunda (pilotes) que mejor se adaptara a los requerimientos del proyecto. La base de conocimiento de PILE está implantada en reglas y la incertidumbre la maneja a través de varios niveles dependiendo del origen del conocimiento. La estrategia de inferencia de PILE se realiza a través de encadenamiento hacia adelante (forward-chaining).

PILE fue evaluado por estudiantes y maestros del programa de doctorado en geotecnia de la universidad de Purdue que concluyeron que el sistema conduce a una decisión racional, explica lo que hace y es útil como sistema tutorial para el usuario inexperto. Sin embargo, PILE aún no es capaz de considerar las restricciones técnicas y económicas de los diferentes tipos de cimentaciones a base de pilotes.

En este ambiente surgen además de PILE:

-SBIR-Phase 1 (*Kamil* 1987) el que a pesar de ser considerado un sistema del área de estructuras, incorpora en su base de conocimiento aspectos geotécnicos necesarios en el diseño sísmico de edificios. Este tipo de SE multidisciplinarios son los que mayores perspectivas de desarrollo tienen por que la solución a problemas reales involucra diferentes tipos de conocimiento.

-AGIS (*Pitas* 1987), diseñado en la universidad de Atenas (Grecia), es un sistema para automatizar la interpretación geofísica de imágenes sísmicas (útil para detectar algunas formaciones geológicas de interés: fallas, anticlinales, etc.)

-GEOPIX-PC (*Mikroudis* 1987), creado en la universidad de Leigh, es un sistema cuyo dominio es la geotecnología ambiental. GEOPIX-PC tiene la función de ayudar al ingeniero en la evaluación de sitios utilizados como depósitos de desechos contaminantes, considerando los

aspectos geológicos, hidrológicos, químicos, tóxicos, bacteriológicos y de ingeniería ambiental y sugerir medidas de solución. Este sistema se utiliza por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos para la evaluación de riesgos ambientales.

GEOTEX-PC, es una versión del sistema GEOTOX (el cual tenía la desventaja de que únicamente se podía correr en una mainframe). Adaptado para trabajar en PC, utiliza como software el lenguaje ADA-PROLOG; la inferencia la realiza a través de redes asociadas (similar a las redes semánticas vistas en el capítulo A) y la incertidumbre se maneja mediante el teorema de Bayes.

1988 se destaca como el año más productivo en la creación de SE para la geotecnia con el desarrollo de 10 SE, los cuales abarcan básicamente las áreas de presas, sismología y enseñanza geotécnica.

Uno de los que más destacó fue EXSEL (Asgian 1988), este sistema fue desarrollado por una compañía privada, JFT Agapito & Associates, por encargo de la armada de los Estados Unidos para diagnosticar problemas de filtración asociados a presas. Este sistema demostró como pueden ser usados los SE para problemas que requieren de conocimiento experto en forma rápida y oportuna. La necesidad de EXSEL surgió a raíz de los resultados de un estudio efectuado en 8800 presas no federales de los E.U., en el cual se encontró que un 28% de ellas presentaban problemas serios de filtración. Ante ello se optó por hacer uso de los SE como una forma de hacer más rápido y eficiente el proceso de diagnóstico

EXSEL está implementado en el shell ARITY PROLOG; utiliza como inferencia el encadenamiento hacia atrás (backward-chaining); el conocimiento está representado por reglas y Frames y se basa en la experiencia de los propios autores y en información del National Research

Council de los Estados Unidos de America..

Otro atributo importante de EXSEL es que tiene una base de datos que contiene alrededor de 115 casos históricos de problemas de filtración en presas. Esta base contiene la forma en que se manifestó el problema, el marco geológico y geotécnico del lugar donde se presentó el problema, la forma en que se construyó la presa, la solución que se dió al problema y la eficacia que tuvo esta solución.

EXSEL trabaja formulando una serie de preguntas al usuario acerca de los síntomas que presenta la presa; a partir de esta información emite un diagnóstico de las causas probables y el tipo de problema presente.

Este sistema corre en un equipo de 640K y de software requiere, además del shell Arity Prolog , la base de datos dBASE III .

Los otros sistemas desarrollados en el área de presas fueron: DSS (Engel 1988) desarrollado en la universidad de Purdue, con la función de ayudar al usuario en la selección del sitio apropiado para la construcción de presas atendiendo a las características hidrológicas, hidráulicas y geológicas de la zona en estudio; y ADSS (Sieh 1988) el cuál tiene el mismo objetivo que EXSEL.

Los SE desarrollados en el area de sismología son :

-SNA (Chiaruttini 1988) que es un sistema que interpreta las señales sísmicas obtenidas de una red local sismométrica. Fue desarrollado en el Instituto de Geodesia y Geofísica de la universidad de Trieste , Italia; y

-IQS (Zhang 1988) que es una base de conocimiento creada para la segmentación de secciones

sísmicas. Este sistema es controlado por un IQS (Interactive Quadtree Splitting). El lugar de origen de este sistema es la universidad de Carolina del Sur, E.U.

Malarisi S., investigador norteamericano, desarrolla en 1988 los sistemas SOIL (*Malarasi 1988*) y ESIE (*Malarasi 1988*). El primero tiene por objetivo servir como software educacional en el área de clasificación de los suelos según los criterios de la AASHTO (American Association of Highway and Transportation Officials) y de otras asociaciones e instituciones americanas. Soil está escrito en BASIC y el conocimiento está representado por reglas. El segundo es un sistema utilizado también como software educacional, para clasificar a los suelos con base en la interpretación de los resultados de laboratorio. Ambos fueron desarrollados en la universidad de Miami por el Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, siendo SOIL el que aparentemente tuvo mayor éxito, puesto que sirvió como base de conocimiento auxiliar para otros sistemas. Los dos sistemas pueden ser utilizados en microcomputadoras compatibles.

También en el área de clasificación de suelos y rocas se crea un sistema diseñado para la clasificación de macizos rocosos (*Tiang 1988*). La base de conocimiento de este sistema está dividida en dos partes, la primera contiene información acerca de los principales parámetros de clasificación y la segunda información para evaluar esos parámetros. Fue desarrollado en la universidad Northern Jiaotong de Beijing China. El conocimiento y la incertidumbre son manejados a través de la teoría de grupos difusos

En este año, 1988, continúan las aplicaciones a la geotecnología ambiental. Así, surgen dos SE en esta área, el primero es un sistema que sirve para evaluar la estabilidad y capacidad de represas que contengan desechos contaminantes o peligrosos; este sistema realiza la evaluación a través de algoritmos de diagnóstico evaluados por conocimiento experto (*Heydinger 1988*). El segundo sistema es SOILSAMP (*Van Der Gaas 1988*) y sirve como ayuda en la optimización de las

estrategias para obtener muestras de suelo contaminado por desechos peligrosos.

Inspirado en el sistema desarrollado en la universidad de Beijing en 1988 (*Tiang 1988*) se desarrolla en 1989 el sistema RMC (*Juang 1989*) en la universidad de Clemson, E.U.. Tiene la función de servir como ayuda en la clasificación de macizos rocosos; se construye en el ambiente del shell FLOP, y utiliza reglas y grupos difusos para representar el conocimiento y la incertidumbre, respectivamente.

Continuando con la aplicación de los SE a presas, se diseña en la universidad de Minnesota un sistema para asistir al ingeniero geotecnista en la inspección de la seguridad de presas, combinando cualitativamente el conocimiento experto y cuantitativamente los procedimientos para la evaluación de la estabilidad de presas de concreto (*Frank 1989*), por otro lado, también se creó en Francia el sistema CONDORA (*Goguel 1989*) que sirve para analizar las lecturas de los instrumentos de monitoreo en tiempo real, lo cual es muy útil en eventos de crisis como sismos y avenidas no previstas; este sistema muestra la utilidad de los SE en la instrumentación de campo.

En este año 1989 hacen su aparición los sistemas BABE (*Zheng 1989*), creados para ayudar al ingeniero en la planeación, análisis y diseño de puentes, considerando los aspectos del tipo de suelo, geología, hidrogeología y aspectos ambientales del sitio

Otro sistema que hace su aparición en este año tiene la función de evaluar y determinar las medidas para evitar el deslizamiento de tierra en lugares de riesgo en Gales del Sur, Gran Bretaña (*Wislock 1989*). El conocimiento está almacenado en tres bases de conocimiento divididas de acuerdo a la gravedad del problema de deslizamiento. Proporciona una zonificación de acuerdo al grado de peligrosidad de deslizamientos de taludes en la zona de estudio.

IMPROVE (Chameau 1987) fue desarrollado por Santamarina y Chameau en la universidad de Purdue. La tarea del sistema consiste en seleccionar el método de mejoramiento de suelos que mejor se adapte a las necesidades de la obra.

IMPROVE, presenta una estructura de representación del conocimiento a base de "windows" para representar las características y los atributos de los métodos de mejoramiento de suelos, los cuales son procesados por el algoritmo de búsqueda Best-First, para obtener el método con mayor grado de aceptabilidad al problema planteado.

Finalmente, en 1990, año en que concluye esta revisión del estado del arte de los Sistema: Expertos en la geotecnia, se desarrollan dos SE: el primero muestra una forma de aplicar los SE para mejorar los procesos en la práctica (Trefor 1990). Su su objetivo es proveer de conocimiento experto a los supervisores de la construcción de pavimentos que les permita tomar decisiones precisas de acuerdo con las especificaciones de construcción, con el fin de corregir deficiencias en la construcción de carreteras.

El otro sistema se desarrollado en la Universidad de California (Sersey 1990). Su dominio es el diseño de puentes para carreteras; una de sus sub-bases de conocimiento considera aspectos geotécnicos; aquí el conocimiento está representado en reglas de producción

C.3) ANALISIS ESTADISTICO DEL ESTADO DEL ARTE.

La división que para este fin se hizo de la geotecnia se fundamenta en:

A) Una agrupación por procesos geotécnicos y;

B) En la agrupación por aplicaciones funcionales del conocimiento geotécnico en la construcción de obras.

La primera división divide a la geotecnia en 4 grandes procesos: análisis de problemas geotécnicos, adquisición de información, construcción y educación. (FIG 4.1)

La segunda está basada en las aplicaciones funcionales de la geotecnia de acuerdo al fin último de la actividad : cimentaciones, el terreno como estructura, el terreno como producto y finalmente el terreno como acuífero.(FIG. 4.2)

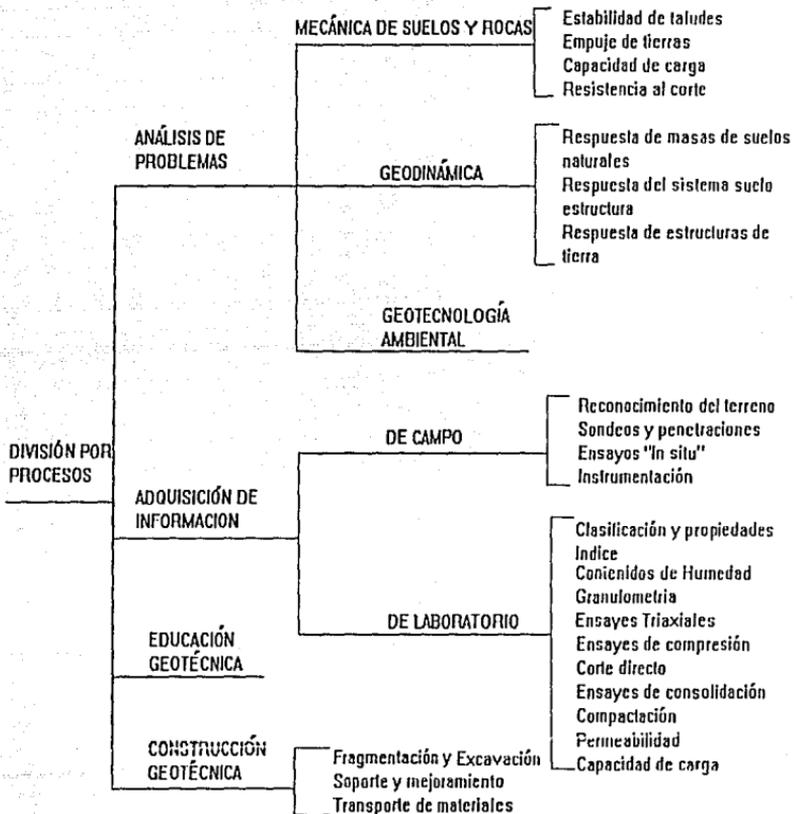


FIG. 4.1 ÁRBOL ESTRUCTURAL DE LOS PROCESOS GEOTÉCNICOS

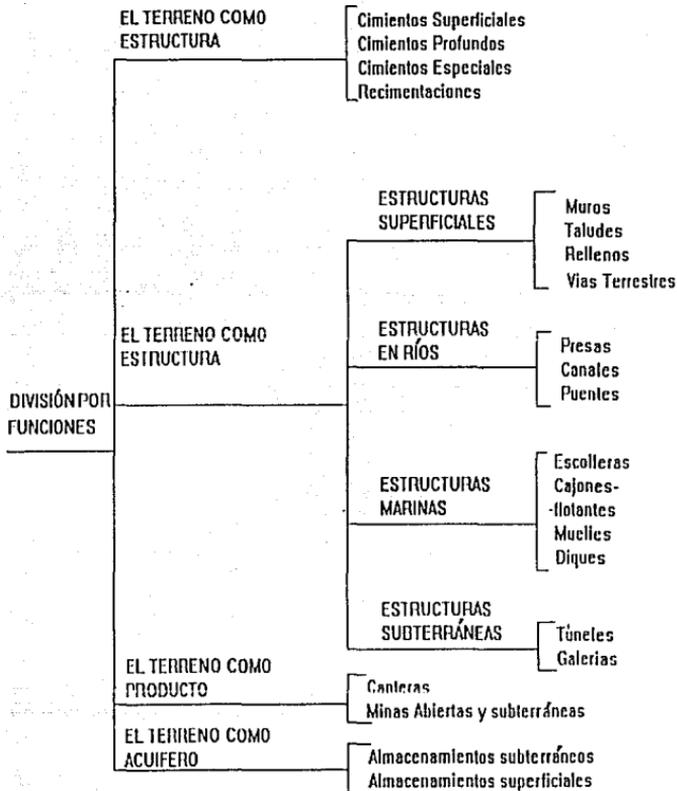


FIG. 4.2 ARBOL ESTRUCTURAL DE LAS APLICACIONES FUNCIONALES DE LA GEOTECNIA

Agrupación de los SE de acuerdo a la aplicación de la geotecnia y a sus procedimientos.

De acuerdo a los procedimientos geotécnicos la clasificación queda, según se indica en las tablas 4.1a 4.4*. Existen sistemas que por sus características se clasificaron en más de un procedimiento; por ello la suma de la tabla 4.1 y 4.2, difiere del total de sistemas detectados (39).

TABLA 4.1 Clasificación de SE de acuerdo a los procedimientos geotécnicos

	<i># de sistemas</i>
<i>Análisis de problemas geotécnicos.</i>	
Geodinámica: sismología	5
[3][32][20][4][11]	
Estabilidad de taludes	2
[9][31]	
Diseño de minas subterráneas	1
[24]	
Geotecnología Ambiental	4
[9][13][16][30]	
<i>Adquisición de información de campo.</i>	
Reconocimiento del terreno:	

* Los números encerrados entre paréntesis en las tablas 4.1 a 4.4, indican la referencia señalada al final del capítulo

clasificación, selección y planeación	7
[3][6][12][14][16][20][28]	
Instrumentación: comportamiento de presas	
sondeos y penetraciones	3
[22][27c][27a]	
Clasificación de macizos rocosos	3
[10][28][18]	
Identificación de rocas: ígneas	1
[8]	
Exploración Marina: varias aplicaciones	1
[5]	

<i>Construcción geotécnica</i>	
Fragmentación y	
excavación: zanjas [27d]	1
Mejoramiento de suelos [2]	1
Construcción de pavimentos [4]	1

Educación geotécnica: instrucción y capacitación	4
[17][14][8][15]	

TABLA 4.2 Clasificación de SE de acuerdo a las funciones del terreno.

<i>Cimentaciones</i>		
Cimientos profundos:pilotes		1
[23]		
Cimientos especiales:puentes		2
[25][33]		

<i>El terreno como estructura superficial</i>		
muros de retención: selección y		
diseño		1
[27b]		
carreteras:selección de la ubicación		1
[19]		

<i>El terreno como estructura en ríos</i>		
en presas: diseño selección y monitoreo		5
[1][6][5][26][21]		

<i>El terreno como estructura subterránea:</i>		
Diseño de minas		1
[24]		
<i>El terreno como acuífero</i>		

Almacenamiento superficial: análisis de
estabilidad de lagunas de desechos peligrosos.[9]

1

Por último mencionaremos los 4 SE que se han desarrollado en una de las ciencias auxiliares de la geotecnia, la geología. Ellos son LITHO, PROSPECTOR, Geological Knowledge y SIES (22a, 22b, 22c, 22d) de los que ya hemos hablado en éste capítulo.

Por otro lado si agrupando los SE de acuerdo a la tarea ó tareas genéricas que realizan tenemos lo siguiente Tabla 4.3

TABLA 4.3 Clasificación de SE de acuerdo a las tareas genéricas

TAREA	Sistemas
Interpretación	13
Predicción	2
Diagnóstico	8
Diseño	4
Planeación	2
Monitoreo	1
Depuración	1
Reparación	0
Instrucción	3
Control	0
Selección	5

Total

39

Finalmente de acuerdo al lugar de origen de los SE observamos lo siguiente en la tabla

4.4.

TABLA 4.4 . Agrupación por procedencia

PAIS	SISTEMAS
Estados Unidos (Universidad de Purdue y Carnegie- Mellon principalmente)	25
Reino Unido	4
Francia	3
China	2
Canada, Italia, Grecia,Australia y de	
Origen desconocido	1
total	39

CONCLUSIONES .

De los resultados arriba vistos podemos comentar lo siguiente :

De acuerdo a la clasificación por procedimientos, la mayoría de las aplicaciones de los SE en la geotecnia están enfocadas hacia las áreas de adquisición de información de campo y análisis de problemas geotécnicos. En la adquisición de datos de campo es más clara esta tendencia debido a que en esta aplicación es más necesario manejar conocimiento experto en el proceso de interpretación.

Es interesante destacar la poca atención que se le ha dado a la aplicación de los SE en la construcción geotécnica, sobre todo considerando la importancia que tiene la cimentación en cualquier tipo de estructura y que es ahí precisamente donde se dan muchos de los problemas en obra ocasionados por falta de preparación e Inexperiencia del constructor. Todo ello ocasiona atrasos, gastos extras y accidentes. Además poco se han usado los SE para manejar la gran

cantidad de datos que se generan en los procesos geotécnicos y que podrían ser de gran utilidad en la generación de nuevo conocimiento (bases de datos inteligentes).

Similar consideración se da en la nula aplicación de los SE en el análisis geotécnico. Por ejemplo, para evaluar la aplicabilidad de teorías prevalentes o para mostrar la aplicación de otras que, por falta de conocimiento, no se hablan considerado (ello propiciaría una mayor comunicación entre la práctica y la teoría).

Para fines educativos sólo se localizaron 4 SE. Ello hace necesario el trabajo en este atractivo campo cuyos beneficios potenciales para mejorar el proceso de enseñanza de los futuros ingenieros son muy prometedores. También pueden servir para capacitar a profesionales en un determinado campo de conocimiento (por ejemplo, supervisores, directores de obra ect.).

Desde el punto de vista de la clasificación funcional de la geotecnia, podemos observar que las presas son las obras que mayor atención han recibido por los creadores de SE.

La agrupación por tareas de los SE confirma las tendencias en cuanto a la aplicación de los SE que ya habíamos señalado arriba; aquí lo importante es ver que existen tareas generalmente atractivas en este campo del conocimiento y en las que no se ha motivado el interés requerido, tales como: control, reparación, monitoreo, planeación y depuración

Finalmente, es necesario destacar que las aplicaciones recientes tienden a abordar problemas más complejos. Ello se puede realizar gracias al desarrollo de las técnicas de la Inteligencia Artificial y de las herramientas computacionales (software y hardware), y al interés creciente de investigadores e ingenieros por utilizar esta tecnología.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- [1] ASGIAN M.I. ARULMOLI K. ed atl.(1988)*An Expert System for Diagnosis and Treatment of Dam Seepage Problems*.In Adell H.(ed) *Microcomputer Knowledge-Based Expert Systems In Civil Engineering*: proceedings.Tennessee: ASCE pp 118-126.
- [2] CHAMEAU J.L. Y SANTAMARINA J.C.(1989).*Knowledge-Based System for Soil Improvement*. *Journal of Computing In Civil Engineering*, 3,3, Julio 1989.New York :ASCE.
- [3] CHIARUTTINI C. y Roberto V (1989) "*SNA: a knowledge-based system for seismic network signal interpretation*". Fourt european signal processing conference vol. 3 Paises Bajos.
- [4] DENHAM L R (1985)*"Expert Systems in seismic exploration "*.Annual offshore technology conference, Houston198 pp 203-207
- [5] ENGEL B A y BEASLEY D B(1988)*A Dam site selector expert system.conferencia planning now for Irrigation and Drainage in the 21st*.New York: ASCE pp 553-560
- [6] FRANCK B M ,KRAUTHAMMER T (1989),*"Expert System for Field of Concrete Dams"*.Engineering with Computers(New York), 5, 2, primavera 1989 p 119-131.
- [7] GOGUEL B y OZANAM O (1989).*Software for integrated dam monitoring systems*.Int. Water Power Dam Constr.(UK), 41, 11, nov.1989, pp.16-19.
- [8] HAWKES D D(1985).*INTAL -An Expert System for the identification of igneous rocks in the hand specimen*.Geol. J (GB),20, 4, diciembre,pp 75-367
- [9] HEYDINGER A G y JENNINGS A A (1988).*Stability routines for expert system permit application review of hazardous waste surface impoundment dikes*. *Environmental Software* , 3, 4, diciembre 1988,pp 162-170.
- [10] JUANG C M ,Lee D H (1989).*"Development of an Expert System for Rock Mass Classification"*.*Civil Engineering Systems*, 6, 4, 1989,pp 147-156.
- [11] KAMIL H (1987).*"Development of Expert System for Earthquake-Resistant Design of*

Structures. Final Report No SAT-370.01 NSF/ISI-87067. National Science Foundation, Washington DC. 87.

[12] LAURENT J P y MOUGIN J P (1984) *"The application of an expert system to geotechnics for specification of site investigations for building"*. Science terre, Inform. Geol., France , pp. 69-83.

[13] LAW H K, ZIMMIE T F y CHAPMAN D R (1988) *"An expert System for Inactive Hazardous Waste Site Characterization"* IN Microcomputer Knowledge Based expert system in civil engineering, Hojjat Adell(ed). New York: ASCE, pp.159-173.

[14] MALARASI S y BUDIMAN J(1988). *SOIL: An Expert System Educational Software*. INT. J. Appl. Eng. Educ.(UK), 4, 4, pp. 351-365

[15] MALARASI S (1988). *Soil Classification : And ESIE approach*. Computer In Education Division of ASEE, 8, 4, oct-dic 1988

[16] MIKROUDIS G. K. & Yang H. F (1989) *"GEO TOX-PC : a new hazardous waste management tool"*. in Microcomputer knowledge-based expert system in civil engineering, Adell H.(ED). ASCE: NY .

[17] NIEDZWECKI J y VARGO MICHAEL. (1985)*Ocean Drilling Program-VII: Expert System for Deepwater Scientific Drilling Activities*. Oceans (New York), IEEE Ocean Engineering Soc., available from IEEE Service Cent(cat. 85CH2250-9), Piscataway, NJ:USA pp 173-175.

[18] PAPACHARALAMPOS D y KOCH G S (1989).*"Automating Rock-Type Classification from Satellite Data : Developing an Expert System"*. Application of computers and operations Research in the Mineral Industry 19th. AIME : Littleton CO, pp 809-815.

[19] PEARSE R, ROSENBAUM M y HAMMOND P (1986).*Evaluation of Proposed Road Corridors By the use of an Expert System*. Applications of Artificial Intelligence in Engineering Problems, Proceedings of the 1st International Conference, v. 2, West Germany & New York: Springer-Verlag pp 719-730.

[20] PITAS I y VENETSANOPOULOS A N (1987).*"AGIS: an expert system for automated*

geophysical interpretation of seismic images". IEEE vol.4 N. Y 2425pp.

[21] REHAK D R , CHRISTIANO P P y NORKIN D D(1985).*SITECHAR: An EXPERT System component of a Geotechnical Site Characterization Workbench*.American Society of Mechanical Engineers Aerospace Division(publication) AD 10, New york: ASCE pp. 117-133 .

[22 a-c] SALDAÑA A H , "*Sistemas Expertos en Ingeniería*",Centro de investigación y de estudios avanzados del IPN, serie amarilla , informe Técnico no. 30, Nov 29 1985.

[23] SANTAMARINA J C Y CHAMEAU J L (1987) ."*Expert System for Geotechnical Engineers*". J. Computing in Civil Engineering , 1, 4, octubre pp 241-242

[24] SCOBLE M J ,HADJIGEORGIOU J y LIZOTTE Y (1996).Integrated Stability Assesment System for Surface Mine Design.Proceeding of the International Symposium :Geotechnical Stability In Surface Mining,Balkema A A(ED).MA : Neth & BOSTON pp 51-60.

[25] SERSEY E, AMR H (1990)."*Knowledge-based approach to the design of highway bridge foundations*".In Microcomputer Appl Transp III Proc. Int Conf Microcomput transp.New York: ASCE pp 416-424.

[26] SIEH D ,KING D y GIENKE F(1988). *Dam Seepage anallysis using artificial intelligence*. Conference :Planning Now for Irrigation and Drainage in the 21st. Century, New York: ASCE pp.417-422 .

[27a-c]SILLER J R (1987). *Expert Systems in Geotechnical Enginoerir* . in MAHER M.L.(ed) Expert Systems for Civil Engineers. New York:ASCE pp 79-80.

[28] TIAN S,ZHANG Q,MO Y(1988)."*Rock Classification Expert System*".Proceedings - International Conference on Pattern Recognition.IEEE Service Cent.,Piscataway,Nueva Yersey pp 643-645.

[29] TREFOR et al (1990). "*Expert System for Asphalt-paviment* construction inspection* ". Journal OF Computing in civil Engineering . ASCE: New York, Vol. 4, no. 4.

[30] VAN DER GAAS N G y DE JONGE L H (1988) "*Use of expert systems for determining*

sampling strategies in contaminated site investigation". Tr. AC Trend in Analytical Chemistry(Personal Edition) , 7, 8,September1988 pp283-285.

[31] WISLOCKI P A y BENTLEY S P (1989).*An Expert System for Lanslide Hazard Risk Assessment. In Artificial Intelligence Techniques and Applications for Civil and Structural Engineers*, Topping B H V(ED).London: Univ. Coll. of Wales pp 249-252 .

[32] ZHANG Z y SIMAAN M. (1988) *"A knowledge based System controlled by an interactive quadtree splicing scheme for segmentation of seismic section"*. Journal IEEE Transactios on Geoscience and Remote Sensing,26, 5 SC:USA p. 518-524.

[33] ZHENG H etl al(1989).*"BABA an Expert System for Structural Design of Bridge Abutments and Piers"*.Comput Util Struct Eng. New York: ASCE pp 372-381.

CAPITULO

D CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO DE SEGEO

Un Sistema Experto asesor en la exploración geotécnica en el Valle de México.

INTRODUCCION

El objetivo de este capítulo es describir el proceso de desarrollo y construcción de un Sistema Experto asesor en la programación de la exploración geotécnica en el Distrito Federal de acuerdo con los requisitos del Reglamento de construcciones y con la experiencia práctica. Además se describen las etapas seguidas en la conceptualización y desarrollo del sistema, así como su estructura y componentes más importantes.

Adicionalmente se pretende que con adiciones futuras que se realicen a SEGEO esté sea un sistema experto para la programación y la interpretación de los estudios geotécnicos para el diseño de cimentaciones, lo cual sería de gran utilidad tanto para los diseñadores al hacer más racional (disminuyendo la incertidumbre y dotando de mayores elementos de decisión) el diseño mismo; como para estudiantes que piensan incursionar en el proceso de diseño de cimentaciones o en el estudio y comprensión de los reglamentos y manuales existentes.

Para el desarrollo de esta aplicación se eligió LEVEL5 el cual es un shell que presenta características tales como la posibilidad de combinar las técnicas y métodos tradicionales para el desarrollo de Sistemas Expertos con la programación orientada a objetos, el uso y manejo en

forma inteligente de bases de datos y las capacidades para manejar hipertextos y gráficas. Útiles en los procesos tutoriales.

Antecedentes.

El subsuelo de la ciudad de México, presenta dificultades generalmente superiores a las que se encuentran en otras zonas, debido a factores tales como (Jaime 1988) :

a) Características del subsuelo (blando y compresible)

b) Hundimiento regional

c) Alta sismicidad.

Estudios realizados en 1959 por Marsal y Mazari permitieron dividir el área urbana del valle en tres zonas con características geotécnicas específicas: zona de lago, zona de transición y zona de lomas; dicha división esta basada en las propiedades de compresibilidad y resistencia de los depósitos existentes (lacustres, aluviales y volcánicos). En la actualidad se sigue utilizando esta división con ligeras modificaciones resultado de estudios realizados posteriormente.

Por otro lado, en la práctica profesional y debido a los requerimientos de contar con presupuestos uniformes, muchos de los programas de exploración se definen a partir de criterios económicos, más que de criterios técnicos; esta actitud además de restar importancia a los demás factores que intervienen el proceso de exploración (las características particulares de la obra, las probables soluciones de cimentación, los métodos constructivos, las características geotécnicas del predio y el tipo de herramientas disponibles) elimina la posibilidad de establecer mejores alternativas de exploración acordes con los requerimientos del problema en estudio.

Debido a lo anterior, la realización de los estudios geotécnicos y en particular la etapa de exploración, adquieren un valor fundamental por la importancia de contar con información confiable y de calidad en todos los procesos que intervienen en la construcción de una obra.

Por ello, considerando que la realización de los estudios geotécnicos y en particular la etapa de exploración constituyen un etapa fundamental en la obtención de información confiable y de calidad se decidió desarrollar SEGEO (Sistema Experto en GEOTecnia), el cual es una primera aproximación al procesos de planeación y diseño de cimentaciones.

D.1) PLANEACION DE LOS TRABAJOS GEOTECNICOS.

La selección inicial de la tarea que realiza el sistema, se fundamenta en la importancia que juega la realización de los estudios geotécnicos dentro del proceso de planeación de las obras bajo la superficie (cimentaciones). Por ello, la primer actividad fue integrar un marco general de referencia para ubicar el tipo de procesos que intervienen en esta tarea FIG. 5.1, en esta detectamos 4 procesos principales:

- a) Adquisición y análisis de información inicial (Investigación preliminar).
- b) Interpretación inicial para definir la programación y ejecución de la exploración geotécnica de campo y laboratorio.
- c) Interpretación de la información obtenida en las dos etapas anteriores
- d) Aplicación de los resultados de la interpretación en la selección y diseño del tipo de cimentación, en la planeación del proceso constructivo y durante el desarrollo del proceso constructivo.

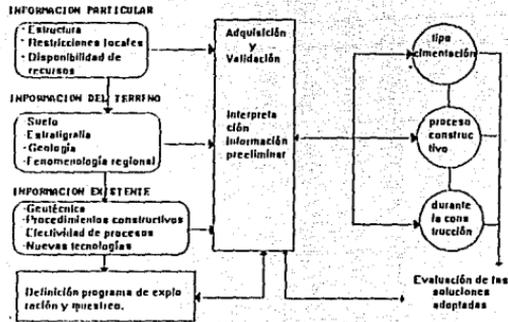


FIG. 5.1

El adecuado seguimiento de los procesos descritos, utilizando las herramientas y métodos disponibles permite arribar a la realización de mejores obras; en este sentido la utilización de los sistemas expertos en este proceso tiene como objetivo guiar hacia una mejor toma de decisiones, evitando lo que Terzaghi llama los *malos juicios*, que podemos agrupar en tres categorías:

1. Influencia de la alteración de las muestras en los resultados de laboratorio, así como las diferencias significativas entre las condiciones de las pruebas de laboratorio y las solicitudes que se le imponen al suelo.
2. Incapacidad para reconocer o juzgar confiablemente las condiciones más desfavorables del subsuelo, compatibles con la información de campo.
3. Comunicación inadecuada entre los grupos de diseño y construcción ; esta situación fácilmente conduce a errores provocados por divergencias en las condiciones interidas del subsuelo y los procedimientos de construcción especificados.

Lo anterior se logra a través del uso eficiente e integrado del conocimiento teórico experimental y práctico, además del establecimiento de una estructura general de conocimiento que integre los aspectos señalados anteriormente.

Una ayuda atractiva para este objetivo es la utilización adecuada de la gran cantidad de información que se genera en la construcción de obras (sondeos y exploraciones, métodos constructivos, etc) y que podemos aprovechar a través de organización y sistematización de esta información en bases de información y en las llamadas bases de datos históricos (que tiene estructura similar a la de las bases de datos, sólo que únicamente guardan información relativa a las características y a la efectividad de procesos propuestos y aplicados en la práctica) que por sí mismas pueden constituir una fuente invaluable de información.

En esta fase SEGEO se desarrolló en la etapa de exploración por ser la etapa inicial en cualquier trabajo geotécnico. Además la estructura de objetos que tiene este sistema le permitirá interactuar con otras bases que contengan información relativa a las restantes etapas de los estudios geotécnicos.

D.2) OBJETIVOS Y ESTRUCTURACION DEL PROGRAMA DE EXPLORACION GEOTECNICA

Los objetivos del programa de exploración geotécnica son: proporcionar información sobre las condiciones estratigráficas del sitio, las condiciones de presión del agua del subsuelo y las propiedades mecánicas de los suelos (resistencia, compresibilidad y permeabilidad), a fin de facilitar el diseño racional de la cimentación de estructuras y la selección del método constructivo adecuado para su ejecución.

La estructuración actual del PROGRAMA DE EXPLORACIÓN GEOTECNICA tiene las siguientes etapas (Santoyo 1989) :

- a) La etapa de exploración: cuyos objetivos, técnicas y herramientas, se definiran con base en la información previa recopilada y en el reconocimiento detallado del sitio,
- b) La etapa de muestreo para recuperar muestras alteradas e inalteradas que se justifique identificar y ensayar en laboratorio
- c) Las mediciones en el sitio, para definir la resistencia y módulos de deformación de los suelos

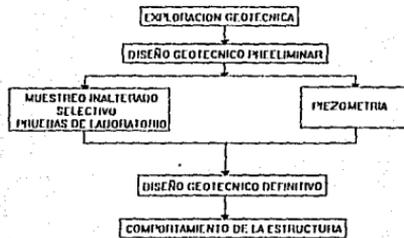


FIG. 5.2 ETAPAS DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS

Actividades para la definición del programa de exploración.

La primera actividad consiste en el reconocimiento geotécnico del sitio. Permite identificar las características geológicas del sitio, interpretar las probables condiciones del subsuelo y observar el comportamiento de las estructuras construidas en la vecindad; la recopilación previa de la información geotécnica disponible y el examen de fotografías aéreas del sitio facilitan y enriquecen esta labor.

La confiabilidad del reconocimiento está condicionada a la capacidad y experiencia del Ingeniero que lo realiza, a su habilidad para captar todos los aspectos significativos y a su conocimiento de las técnicas de exploración. Sin embargo muchas veces se resta importancia a esta etapa y por ello se le encomienda a ingenieros con poca experiencia y a veces hasta se omite, lo que ocasiona que se generen problemas durante la exploración, o peor aun, el estudio geotécnico realizado queda con errores ocultos que provocarán problemas constructivos o comportamientos indeseables en la cimentación.

Con la información recopilada y las características de las estructuras por construir se deberá elaborar el programa que defina las técnicas de exploración más adecuadas, la conveniencia de hacer mediciones de campo y las técnicas de muestreo inalterado.

Selección de la técnica de exploración.

Se acostumbra clasificar las técnicas utilizadas para la exploración en:

- A) Métodos Indirectos, que comprenden a los procedimientos geofísicos principalmente al geoelectrónico y el geosísmico
- B) Métodos semidirectos, que corresponden a los conos dinámicos, estáticos y prueba de penetración estándar.
- C) Métodos directos que esencialmente consisten en el muestreo de los suelos con tubo de pared delgada.

La metodología más recomendable en esta etapa debe aprovechar, si así se requiere, todas las técnicas descritas, iniciar con los métodos geofísicos, continuar con los conos y después el muestreo inalterado, utilizando a la penetración estándar en los suelos en los que no se requieran muestras inalteradas o que no se disponga del muestreador capaz de rescatarlas.

Finalmente es importante destacar la importancia que están adquiriendo día con día la tecnología de las mediciones de campo, en los procedimientos de obtención de los parámetros de

diseño, con lo que se podrá racionalizar las pruebas de laboratorio que se realizaran en el futuro. Entre los dispositivos utilizados para este fin se encuentran: el cono estático, los presiómetros y el dilatómetro.

D.3) ACERCA DEL SHELL Y LA PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS.

El shell que se eligió para desarrollar el sistema fue Level 5 Object por las siguientes razones:

1. Se basa principalmente en la programación orientada a objetos. Esto facilita el ordenación del conocimiento, ya que éste se puede dividir en clases, atributos e instancias.

La idea principal de la programación orientada a objetos como lo describe Morill [89]: "Nosotros percibimos el mundo como una variedad de objetos; cuando observamos una planta, nosotros miramos una planta, no una masa de átomos individuales. Podemos dividir la planta en hojas, flores, tallo y raíz; pero seguimos viendo esas partes como unidades, como objetos. "Si subdividiéramos las partes y piezas de la planta en moléculas, siguen agrupadas en diferentes átomos que también percibimos como unidades simples. Para llevar la analogía un paso más, la programación procedural tradicional trata los átomos, mientras que la programación orientada a objetos trata la planta."

De este modo el conocimiento puede ser manejado de manera muy similar a como lo maneja un ser humano. Por un lado, se tiene un conjunto de objetos estructurados y jerarquizados dentro de clases (análogo al conjunto de conceptos igualmente estructurados y jerarquizados que manejamos los seres humanos al representarnos nuestro mundo), y por otro, un conjunto de reglas mediante las que podemos razonar sobre esa "representación del mundo" y llegar a nuevas

conclusiones que modifiquen los objetos (o conceptos) anteriores y que nos permitan resolver problemas.

2. Interfaz gráfica altamente desarrollada. Ello permite construir aplicaciones de gran atractivo para el usuario, lo cual es de gran utilidad para una mejor comprensión del usuario con respecto a los términos utilizados y consideraciones hechas por el programador.
3. Capacidad de manejar la información de manera no secuencial y de acuerdo al nivel de conocimientos y a los requerimientos del usuario (hipertextos e hiperregiones).
4. Capacidad de interactuar con bases de datos y hojas de cálculo.
5. Funciona dentro del ambiente Windows lo que permite interactuar fácilmente con otras aplicaciones Windows.

Estructura del conocimiento en Level 5 Object.

La modelación del sistema usada para clasificar y organizar la información dentro de objetos se realiza después de que se ha organizado y clasificado el conocimiento del mundo real. De esta manera lo que hacemos para entender la gran diversidad de fenómenos que afectan a un problema dado, es estructurar los objetos que nosotros conocemos dentro de clases y subclases, por ejemplo, la clase mamíferos está dividida a su vez en subclases tales como felinos, humanos, caninos, etc. Los miembros de estas subclases tienen por principio las mismas características y comportamiento de la clase mamíferos, pero además poseen características adicionales que las hacen diferentes.

ESTE TEXTO NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En forma similar, los paquetes computacionales que utilizan programación orientada a objetos, tienen una estructura definida que permite declarar las clases y objetos que hemos establecido. De esta manera el paso entre la conceptualización que hacemos del problema y la programación en computadoras es directo, es decir, tal como pensamos y estructuramos un problema definiendo los factores que influyen en él (agrupados en clases), así los estructuramos en la computadora.

Por ejemplo LEVEL 5 (software que utiliza programación orientada a objetos) establece un patrón para declarar clases en forma directa FIG. 5.3.. En level 5 las clases describen la estructura y el comportamiento de los objetos dentro de una aplicación, en forma similar a como los archivos definen la estructura básica en una base de datos, asimismo las clases están definidas por una colección de características llamadas atributos, los cuales son similares a los campos en las bases de datos. El comportamiento definido por facetas, reglas y métodos es lo que establece los límites a los atributos. Los valores específicos de los atributo se almacenan en clases llamadas instancias.

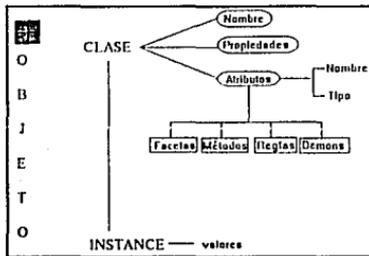


FIG 5.3 ESTRUCTURA DE LOS OBJETOS

D.4) CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO DE SEGEO version 1

Introducción.

El objetivo principal del sistema es servir como esquema inicial de una primera aproximación al proceso de planeación de las obras bajo la superficie. La tarea inicial de este sistema será servir como asesor en la programación de la exploración geotécnica necesaria para la construcción de cimentaciones en el DF, atendiendo a los requisitos del Reglamento de construcciones y al conocimiento experto acumulado en la práctica; además se prevé que en etapas subsecuentes, lo cual está considerado en la estructuración del sistema, éste pueda interactuar con otras bases de conocimiento relacionadas con las restantes etapas de los estudios geotécnicos.

D.3.1 ESTRUCTURA Y FORMA DE TRABAJO DE SEGEO

Estructura general.

El sistema consta de dos bases de conocimiento. La primera (KB1) contiene información relativa a cada una de las tres zonas geotécnicas en que se ha dividido el Distrito Federal, y la segunda contiene el conocimiento y los procesos de inferencia necesarios para definir el programa de exploración geotécnica. (KB2), FIG. 5.4

ESTRUCTURA GENERAL DE SEGEO

Forma de trabajo del sistema

El sistema interactúa con el usuario a partir de una serie de preguntas que el sistema formula (algunas veces ayudado con gráficas para ilustrar el concepto o dato que se pide) referentes a la zona en la que se encuentra el predio en estudio (KB1), las características de la estructura y las peculiaridades del predio (KB2).

ESTRUCTURA GENERAL DE SE GEO.

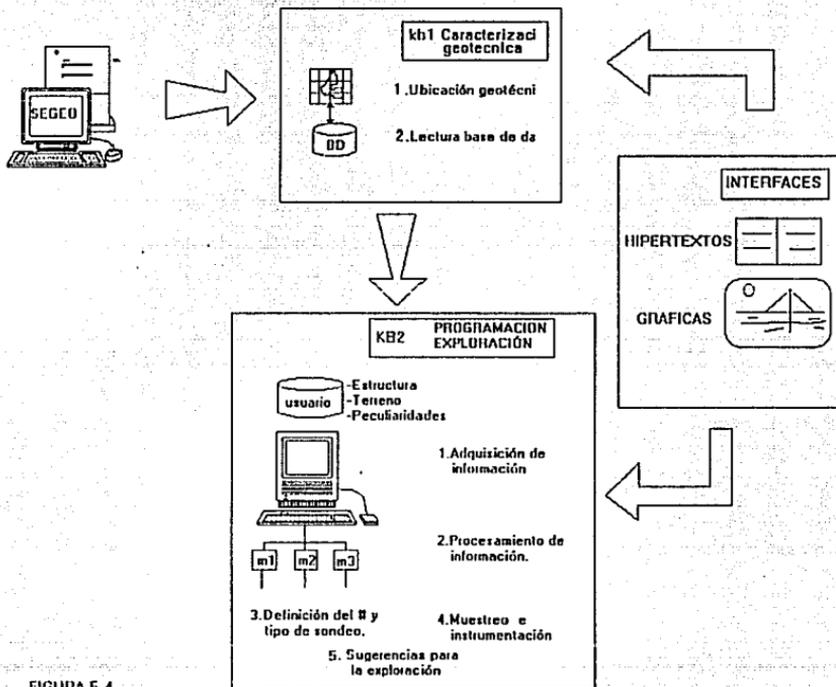


FIGURA 5.4

El sistema experto explica conceptos o preguntas en la que hubiese dudas ó que fuese necesario proporcionar información adicional. Estas explicaciones y aclaraciones se darán mediante hipertextos y gráficas adicionales que contendrán información que va desde conceptos básicos (peso medio, cimentaciones superficiales, zona de lago, zona de lomas ect), hasta descripciones detalladas de algunos procesos (fotointerpretación, recorrido de campo ect) y gráficas (perfiles estratigráficos, sondeos de cono ect). La forma de acceder a estas explicaciones será por dos medios. Uno a través de un ícono fácilmente identificable en las diferentes pantallas (la imagen que representa a este ícono es un signo de interrogación) o través del comando EXPAND! ubicado en el menú de opciones de las pantallas.

Diseño de la base de conocimiento.

La base de conocimiento I(kb1), encargada de definir la zona y las características geotécnicas del predio en estudio se formó a través de un modelo de árbol de decisiones cuyo esquema general se muestra en la FIG. 5.5. En este modelo se relacionan por medio de reglas de inferencia, diferentes hechos, en este caso, las características de ubicación en el mapa de la zonificación geotécnica del Valle de México (Manual de diseño geotécnico, COVITUR) y las características superficiales del predio en estudio; con el fin de definir sus propiedades geotécnicas preliminares y el grado de corteza, las cuales son utilizados por la base de conocimiento II (kb2). Es importante señalar que esta estructura, por su sencillez, permite incorporar nuevos procedimientos en esta base para futuras versiones.

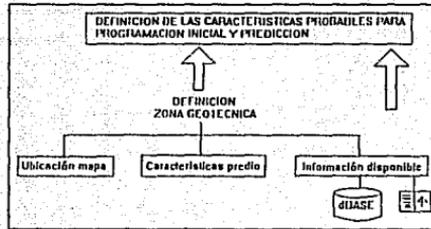


FIG. 5.5

En forma similar la base de conocimiento para la programación de la exploración KB2 se basó en un árbol de decisiones cuya punta lo representa cada uno de los métodos definidos. Las reglas de inferencia implícitas en este árbol se obtuvieron del Manual de diseño geotécnico de COVITUR (Comisión de Vialidad y Transporte Urbano del D.D.F.), del reglamento de construcciones, de las normas técnicas complementarias para el diseño de cimentaciones del DDF y de ingenieros con experiencia. En la figura 5.6 se ilustra el esquema inicial de los factores que intervienen en la programación de la exploración geotécnica y en la figura 5.7 se muestra la estructura general de esta base de conocimiento.

Esta base trabaja a partir de una serie de procesos de inferencia que permiten seleccionar la técnica de exploración más adecuada a las condiciones de la estructura y del predio (definidas en la base de conocimiento I y en preguntas que el sistema realiza en esta segunda base). Para definir la herramienta de exploración, el sistema revisa las restricciones de los posibles equipos que pueden ser empleados de acuerdo a las condiciones del terreno, reteniendo sólo aquellos que rebasen un cierto valor de aceptabilidad previamente definido figura 5.7. Finalmente, y con toda esta información, el sistema recomienda el tipo y número de sondeos necesarios.

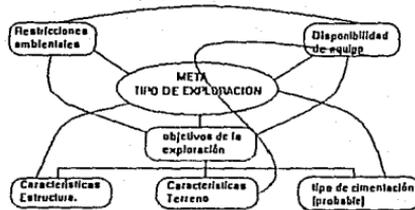


FIG 5.6

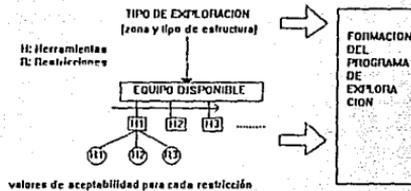


FIG 5.7

Sistema de objetos.

KB I: En la actualidad la base de conocimiento posee 3 tipo de objetos :

1. Objetos que representan y capturan la información de cada una de las zonas geotécnicas
2. Objetos que guardan la información disponible : bases de datos.
3. Objetos de ayuda (Gráficas, textos de ayuda)

KB II: En la base de conocimiento contiene también tres tipos de objetos:

1. Objetos que representan los factores que influyen en la definición del tipo de exploración como son: características de la estructura, características del suelo, características del predio.

2. Objetos que representarán las características de la programación de la exploración(métodos de exploración y actividades para la exploración).

3. Objetos de ayuda(Gráficas, textos de ayuda ect)

AGENDA (tipo de metas)

Las metas son los objetivos, los cuales son revisados por el sistema para definir cual de ellos se cumple a través de un método de inferencia. Una vez que se ha definido una meta, el sistema, a través de encadenamiento hacia adelante define las características de la exploración y da algunas recomendaciones para su ejecución.

ZONA DE LOMAS

Exploración de estructuras del tipo A, zona minada

Exploración de estructuras del tipo B, zona minada

Exploración de estructuras del tipo A, zona no minada

Exploración de estructuras del tipo B, zona no minada.

ZONA DE TRANSICION

Exploración en suelos de transicion en estructuras tipo A

Exploración en suelos de transicion en estructuras tipo B

ZONA DEL LAGO

Exploración de estructuras tipo A

Exploración de estructuras tipo B

Método de inferencia.

El tipo de inferencia utilizado en el sistema es mixta, es decir forward y backward chaining. Backward-chaining se utilizó para seleccionar las metas del conjunto de alternativas existentes, en KB1, ZONAS GEOTECNICAS, y en KB2, TIPOS DE EXPLORACION. Forward-Chaining (encadenamiento hacia adelante) se utilizó para arribar a las conclusiones una vez definida una meta.

Construcción del sistema.

Actualmente el sistema se encuentra en su fase de prototipo operacional. En él se han incorporado los elementos definidos en los árboles de decisiones. La estructura del sistema definida es lo suficientemente flexible para permitir incorporar en futuras versiones algunas otras restricciones relativas a las características de las diferentes alternativas de los equipos de exploración e incluso nuevos métodos o equipos, así como para incorporar nuevas fuentes de conocimiento.

Una ayuda que se presenta bastante atractiva para el desarrollo del sistema es la incorporación de la base de datos CATSON; la cual es una base de datos desarrollada en la sociedad mexicana de mecánica de suelos (SMMS), relativa a la información de sondeos realizados en el Valle de México. Esto proporcionaría información más localizada y confiable respecto a las probables condiciones geotécnicas por enfrentar en la realización de los estudios y en las posteriores interpretaciones de las condiciones locales.

La implantación de este sistema requiere sólo una computadora personal compatible AT, y el paquete Windows.

CONCLUSIONES

Hemos presentado la estructura y características principales de SEGEO (Un sistema experto asesor en la programación de la exploración geotécnica en el D.F.), el cual es una muestra inicial de las posibles aplicaciones de los Sistemas Expertos en la Ingeniería civil, particularmente en la geotecnia.

La realización de estudios geotécnicos representa una fase fundamental en la ejecución de muchas obras, por ello el definir y considerar de mejor manera las herramientas, el tipo de exploración y los elementos de interpretación que intervienen a lo largo del proceso, es una forma de mejorar la calidad de las obras.

SEGEO, en su actual etapa de desarrollo se define como un prototipo inicial. Sin embargo la estructura flexible del propio sistema permite esperar importantes desarrollo dentro del marco del proceso de planeación de los estudios geotécnicos, tal como fueron definidos en este capítulo.

A lo largo del desarrollo del sistema hemos notado que existe necesidad de sistematizar y utilizar la gran cantidad de información que se genera en los trabajos geotécnicos. Los sistemas manejadores de bases de datos y las técnicas de las bases de datos relacionales representan una forma que pueden resultar sumamente útiles para este propósito.

Finalmente, es importante mencionar las ventajas que presenta la utilización de la programación orientada a objetos en el desarrollo de este tipo de sistemas, ya que nos permite trabajar y desarrollar los sistemas en forma fácil y eficiente, además de que permite tomar en cuenta la complejidad que rodea a la mayoría de los problemas en ingeniería. Además de representar unos de los paradigmas de programación actual.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

Aguayo C J, Cordoba M S & Sanches D (1989). *Evolución geológica de la cuenca del valle de México. Memorias del simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del valle de México*. SMMS, pp. 25-42

Harvey J C (1987). *Geología para Ingenieros geotécnicos*. Limusa, Mexico.

Jaime A P & Jasso R M (1991). *Usos y abusos del cono eléctrico en la ciudad de México*. Revista de la facultad de Ingeniería. Vol. LXI, Núm.2, UNAM, México.

Jaime A P (1988). *Geotecnia y sismicidad en el valle de México*. Series del Instituto de Ingeniería , No. D-25, UNAM, México.

Morrill T J (1989). *Introduction :Object-Oriented Programming in BYTE* a Mc Graw-Hill publication, Marzo. pp. 228-231

Santoyo E, Riquing L & Ovando E (1989) *El cono en la exploración geotécnica*. Ed. Carlos Gutiérrez. TGC geotécnica México.

Varios autores (1990). *El subsuelo de la cuenca del valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a 5 años del sismo*. Ed. Efraín Ovando y Francisco Gonzales Valencia. SMMS, México.

Manuales y reglamentos

Manual de diseño geotécnico. COVITUR, Editado por el DDF 1987

Reglamento de construcciones del DDF. 1987

Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones . DDF, 1987.

Manual de diseño y construcción de pilas y pilotes. SMMS, México, 1983.

LEVEL 5 OBJECT Versión 2.0 User 's Guide. Información Builders Inc.: New York , NY 1990.

CONCLUSIONES

Los requerimientos de recursos humanos en la ingeniería civil, acordes a las nuevas necesidades de la ingeniería y al desarrollo tecnológico actual, comprenden, entre otros, un sólido conocimiento de las ciencias básicas, un entendimiento adecuado de los fenómenos sociales y humanísticos y además una percepción completa de las nuevas disciplinas y metodologías existentes.

Las nuevas tecnologías de la computación, entre ellas la Inteligencia Artificial, son elementos que deben ser aprovechados, ya que han demostrado su eficiencia y ventajas, para dar solución de mejor manera a las necesidades de infraestructura de nuestro país, está es precisamente la idea principal bajo la que se sustenta esta tesis y la que da pie a las conclusiones finales.

Antes de pasar a las conclusiones finales, mencionaremos las siguientes consideración que acerca de los SE han expresado algunos autores.

a) El riesgo que existe en la comercialización de estos productos, por la falta de análisis previo, ya que las exigencias del mercado pueden llevar a comercializar productos (sistemas) Ineficientes (esto es común en los sistemas o paquetes algorítmicos).

b) El riesgo que significa que Ingenieros sin experiencia traten de utilizar este tipo de software y la tentación por Incursionar en áreas fuera de su especialidad y dominio (esto lo hemos señalado por que este es la preocupación de algunos Investigadores en esta área; sin embargo en lo personal pensamos que ello no significa necesariamente una desventaja , al contrario el hecho de que los estudiantes intenten adquirir experiencia a través de estos sistemas representa por sí mismo una ventaja. El hecho de que ingenieros intenten incursionar en otras áreas de la ingeniería puede hacer más atractivo y creativo el desarrollo de esta rama del conocimiento).

De acuerdo a lo anterior y con base en lo señalado a lo largo de esta tesis podemos concluir que:

RESPECTO A LOS SE

1. Los SE se presentan como una estructura de programación orientada a la solución de problemas reales, mediante una mejor utilización del conocimiento y de la información experta, vital en todos los campos de la Ingeniería civil. Se señala el impacto positivo que pueden tener los SE en lo relativo a la documentación y transferencia del conocimiento hacia los futuros Ingenieros. Adicionalmente los SE ofrecen otros beneficios entre los que se cuenta la posibilidad de considerar sistemáticamente la mayoría de los hechos relevantes de un problema, el uso potencial de varios campos y niveles de experiencia, la incorporación de la habilidad para resolver problemas y la aclaración de los fenómenos involucrados en los mismos.

2. La consideración anterior se vuelve más válida a la luz de los desarrollos que se siguen dando en las demás áreas de la IA, en los métodos y formas de representación y manejo del conocimiento que se aplican en los SE (ventanas difusas, objetos), en la conceptualización de los SE como herramientas para el mejoramiento de la toma de decisiones (knowledge-based decision support systems DSS, engineering expert system approach EES), en el desarrollo de marcos generales de trabajo para aplicaciones específicas (Automated Interpretation for Sensing In Situ

Conditons AISD) y finalmente, en el hecho de que la mayor parte de estos desarrollos han sido obra de investigadores del área de Ingeniería civil.

3. En cuanto a lo señalado al principio de este capítulo acerca de la necesidad de mejorar la preparación de los recursos humanos con que contamos, los SE se presentan atractivos para ser utilizados en este fin. Lo que es más en la actualidad se ha desarrollado el concepto de Sistemas Tutoriales Inteligentes, que basados en varias de las técnicas que utilizan los SE, tienen el objetivo de ser herramientas orientadas al mejoramiento del proceso de enseñanza en forma inteligente.

RESPECTO A LA APLICACIÓN EN LA GEOTECNIA.

1. La geotecnia es uno de los campos de la ingeniería civil más aptos para aprovechar las ventajas de los SE, sobre todo por la importancia que juega aquí el conocimiento experto, la consideración sistemática de todos los hechos y la incertidumbre envuelta en el conocimiento utilizado. Lo SE contribuyen aquí a tres objetivos principalmente:

a) Disminuir la incertidumbre envuelta en el conocimiento, al incorporar más fuentes de conocimiento y a las ventajas de trabajar con computadoras (manejo de grandes cantidades de datos, rapidez, capacidades explicativas en forma atractiva entre otras).

b) Ampliar las alternativas a los ingenieros (cimentaciones, métodos constructivos etc) al incorporar conocimiento de nuevas tecnologías, así el diseñador estará en posibilidad de conocer las diferentes tecnologías de diseño, los métodos y procesos disponibles en la literatura y en la práctica.

c) Conocer las ventajas y desventajas de los métodos y procedimientos existentes. A través de los SE se pueden realizar evaluaciones más específicas de los métodos existentes, por ejemplo

realizar un análisis de sensibilidad para la selección del tipo de cimentación, lo que permite conocer los puntos de los procesos o métodos existente y en base a ello mejorarlos o "crear" uno nuevo.

2. Adicionalmente, el uso de los SE en la geotecnia se hace indispensable debido a que la practica de esta área en nuestro país, se ve dificultada por una serie de problemas peculiares. Entre ellos la escasez de profesionales de alta calificación, la inadecuada distribución de profesionales calificados en el país, el alto costo de la transferencia de conocimiento y de capacitación así como las futuras necesidades de una sociedad en desarrollo.

3. Se han hecho grandes avances en la aplicación de los SE en la geotecnia a nivel mundial (39 detectados en la actualidad), principalmente en el proceso de interpretación de la información de campo (reconocimiento del terreno, instrumentación en campo clasificación de suelos) y en el análisis de problemas geotécnicos (geodinámica, sismología, estabilidad de taludes, geotecnología ambiental). Adicionalmente vale la pena resaltar que la mayoría de estas aplicaciones se han desarrollado en países del primer mundo principalmente en los Estados Unidos, y lo que es más importante la mayoría de las aplicaciones, incluyendo varias de las más importantes se han desarrollado en los últimos años, esto quiere decir que las posibilidades de incursionar desde ahora en este desarrollo en base a aplicaciones novedosas son sumamente atractivas.

4. Existen áreas factibles de aplicación de los SE, escasas en los SE desarrollados a la fecha en la geotecnia, tales como: control, monitoreo, planeación y depuración.

5. Debido a que esta área de la computación es nueva en nuestro país, el campo de aplicación es amplio. Sin embargo creemos que las primeras aplicaciones de los SE deben de estar dirigidas, por un lado a problemas que por su propia naturaleza sea necesario mejorar sus

procedimientos para mejorar la calidad de las obras ó para ahorrar recursos y tiempo, y por otro para coadyudar en el proceso de transmisión del conocimiento experto hacia los futuros y actuales ingenieros. en nuestro país,

RESPECTO A SEGEO

1. SEGEO (Sistema Experto en GEOTecnía) representa la primer aplicación de los SE en México en el campo de la geotecnia. El objetivo principal de este sistema desarrollado en el Instituto de Ingeniería, es servir como una primera aproximación al proceso de planeación e Interpretación de los estudios geotécnicos para el diseño de (cimientos). La primer tarea de este sistema será de asesoramiento en la definición del programa de exploración geotecnica en el Distrito Federal.

2. SEGEO muestra en su etapa inicial (prototipo) algunas de las ventajas de la aplicación de los SE. Muestra en forma interesante la forma de llevar a cabo la etapa de exploración de los estudios geotécnicos en cada una de las zonas en las que se ha dividido la ciudad de México. Adicionalmente guía hacia una forma más racional para definir el tipo de herramientas necesarias para realizar la exploración y además emite sugerencias acerca de la forma de llevarla a cabo en campo. Durante el proceso de construcción del sistema se detectó una falta de definición de las restricciones económicas y algunas técnicas que rodean la selección de las herramientas de exploración. También se detectó una falta de sistematización de la gran cantidad de conocimiento generado en la práctica, que por sí misma constituye una fuente invaluable de conocimiento.

11. El ambiente de trabajo de SEGEO, una vez superada su etapa de prototipo, se presenta en las empresas consultoras, en las constructoras y en las universidades (como

herramienta de aprendizaje). La implantación de este sistema requiere solamente una computadora personal compatible AT, y el paquete Windows.

Finalmente, es importante destacar la opinión de mucha gente relacionada con la ingeniería civil, en el sentido de que debido a la rápida absorción de nueva tecnología, los SE serán una herramienta ordinaria de los Ingenieros en un futuro cercano. Por ello la importancia de conocer y trabajar desde ahora en la utilización de esta tecnología. Lo escrito a lo largo de esta tesis pretende llamar la atención de Ingenieros, investigadores y estudiantes acerca de las posibilidades que se abren para la Ingeniería civil en este campo del conocimiento.

APENDICE 1

BASE DE SISTEMAS EXPERTOS APLICADOS A GEOTECNIA

NOMBRE: CONE

AREAS DE APLICACION: <adquisicion de datos de campo> <sondeos y penetraciones>

FUNCION: Interpretacion de los datos del cono electrico, mediante la evaluacion de los métodos existentes para algunos tipos de suelos característicos

SOFTWARE: <OPS 5> <Lisp>

EQUIPO: DEC 20

REP. DEL CONOCIMIENTO: 178 Reglas y 125 funciones de procedimiento en Lisp

INCERTIDUMBRE: logica difusa

AUTOR: Mullarkey P

INSTITUCION: Universidad Carnegie-Mellon

LUGAR: Pittsburg, USA

NOMBRE: RETWALL

AREAS DE APLICACION: <el terreno como estructura superficial> <análisis de estabilidad de taludes>

FUNCION: Auxiliar al Ingeniero en la decision del tipo, si es necesario, de muro de retencion requerido, considerando las propiedades y las características geométricas del terreno.

SOFTWARE: <shell BUII.D>

REP. DEL CONOCIMIENTO: reglas de produccion, contiene ademas informacion de 10 diferentes tipos de muros de contencion.

INFERENCIA: <backward> <forward>

INSTITUCION: Universidad de Sidney

LUGAR: Australia, Sidney

NOMBRE: SOILCON

AREAS DE APLICACION: <Investigacion de campo> <reconocimiento del terreno>

FUNCION: Planeacion del nivel y cantidad de investigacion geotecnica "in situ", necesaria para disminuir los riesgos inherentes en obras.

SOFTWARE: shell M1

EQUIPO: PC

REP. DEL CONOCIMIENTO: Reglas de produccion. Contiene cerca de 24 críticas de investigacion que van desde preliminares hasta sofisticadas.

INFERENCIA: backward

AUTOR: Wharry M. y Ashley D.

INSTITUCION: Universidad de Austin

LUGAR: Texas, USA

LUGAR: Texas,USA

NOMBRE: SHALLOW TRENCHES

AREAS DE APLICACION: < construccion geotecnica > < fragmentacion y excavacion >

FUNCION: Clasificar el tipo de suelo, seg-n los criterios de la NBS(National Bureau of Standar) y tomar medidas que garanticen seguridad durante la construccion de zanjas, por ej. colocacion de tuberias, cables ect.

SOFTWARE: shell Personal Consultan

EQUIPO: PC-TX

REP. DEL CONOCIMIENTO: Factual Data y reglas de produccion .

AUTOR: Konkolt G.

INSTITUCION: Universidad Carnegie-Mellon

LUGAR: Pittsburgh, USA

NOMBRE: IMPROVE

AREAS DE APLICACION: < construccion geotecnica > < mejoramiento y soporte >

FUNCION: Seleccionar el metodo de mejoramiento de suelos, que mejor se adapte a los requerimientos de la obra evaluando los atributos y restricciones(tecnicas economicas ect) de los metodos aplicables .

REP. DEL CONOCIMIENTO: por medio de "windows" a traves de 8 stack de windows para cada uno de los 40 metodos que maneja .Ademas maneja una base de datos historicos y un tutorial de suelos SOIL

INFERENCIA: Algoritmo Best-First

INCERTIDUMBRE: windows

AUTOR: Chameu J.L Y Santamarina J. C.

INSTITUCION: Universidad de Purdue

LUGAR: Indiana, USA.

NOMBRE: EXSEL(Expert System for diagnosing Seepage and Leakage)

AREAS DE APLICACION: <adquisicion de datos de campo > < analisis de flujo de agua:presas >

FUNCION: Diagnosticar cuallitativamente problemas de filtracion en presas.

SOFTWARE: < shell Arity Prolog > < dbase III >

EQUIPO: IBM PC.

REP. DEL CONOCIMIENTO: Reglas if-then y frames.

INFERENCIA: backward

INCERTIDUMBRE: no

AUTOR: J.F.T. Agapito and Associates , Inc.(1987)

INSTITUCION: U.S. Army Engineers,Waterways experiment Station.

LUGAR: Virginia.U.S.A.

NOMBRE: PILE

AREAS DE APLICACION: < el terreno como cimlento > < cimientos

profundos>

FUNCION: Seleccionar el tipo apropiado de cimentacion profunda a base de pilotes

SOFTWARE: <LISP> <tutorial SOIL>

EQUIPO: PC

REP. DEL CONOCIMIENTO: 60 reglas de produccion

INFERENCIA: forward

INCERTIDUMBRE: Factores de importancia, factores de certeza

AUTOR: Santamarina J.C. Y Chameau J.L.

INSTITUCION: Universidad de Purdue

LUGAR: Indiana, USA

NOMBRE: *SBIR-Phaso 1*

AREAS DE APLICACION: <geodinamica> <respuesta

suelo-estructura:sismos>

FUNCION: Servir como sistema consultor en la toma de decisiones en el proceso de diseñar edificios contra la accion de sismos, considerando los aspectos geotécnicos.

AUTOR: Kamil H.

INSTITUCION: Structural Analysis Technologies, Inc.

LUGAR: California, USA

NOMBRE: *(Knowledge-based to the design of highway bridge foundation)*

AREAS DE APLICACION: <el terreno como cimiento> <cimientos especiales:puentes>

FUNCION: Servir como ayuda en el diseño de cimientos en puentes para carreteras,

REP. DEL CONOCIMIENTO: reglas

AUTOR: Sersy, Amr H.

INSTITUCION: Universidad de California, Berkeley

LUGAR: California, USA

NOMBRE: *RMC(Rock Mass Classification)*

AREAS DE APLICACION: <clasificacion de masas de roca en campo>

FUNCION: Servir como ayuda en la clasificacion de macizos rocosos en campo.

SOFTWARE: <Shell FLOP>

EQUIPO: Microcomputadora

REP. DEL CONOCIMIENTO: reglas

INFERENCIA: Por medio de grupos difusos

AUTOR: JUANG C H, LEE D H

INSTITUCION: Universidad de Clemson

LUGAR: SC, USA

NOMBRE: *BABE (Bridge and Building Evaluation)*

AREAS DE APLICACION: < el terreno en estructuras superficiales:puentes >

FUNCION: Ayudar al usuario en la planeacion, analisis y diseño de estructuras para puentes considerando los aspectos como: tipo de suelo, geologia, hidrogeologia y aspectos ambientales del sitio elegido.

AUTOR: Zheng H , Mikroudis G K, Pamukcu S , Hu Z X

INSTITUCION: Universidad de Lehigh Bethlehem

LUGAR: PA, USA

NOMBRE: *(expert system for field inspection of concrete dams)*

AREAS DE APLICACION: < adquisicion de informacion de

campo > < reconocimiento del terreno: presas >

FUNCION: Asistir al ingeniero en la inspeccion de campo de presas de concreto

AUTOR: Franck B M , Krauthammer T.

INSTITUCION: Universidad de Minnesota

LUGAR: MINNEAPOLIS, MN, USA.

NOMBRE: *(sistema experto para clasificacion de macizos rocosos)*

AREAS DE APLICACION: < adquisicion de datos de campo > < reconocimiento del terreno: clasificacion de macizos rocosos >

FUNCION: Clasificar macizos rocosos

REP. DEL CONOCIMIENTO: La base de conocimiento esta dividida en dos partes 1. contiene informacion acerca de los principales parámetros de clasificacion 2. informacion para evaluar dichos parámetros.

INCERTIDUMBRE: teoria de grupos difusos

AUTOR: Tiang S , Zhang Q , Mo Y.

INSTITUCION: North China University of Technology

LUGAR: Beijing China.

NOMBRE: *DSS(A Dam Site Selector expert system)*

AREAS DE APLICACION: < adquisicion de datos de campo > < reconocimiento del terreno: presas >

FUNCION: Ayudar en la seleccion del sitio apropiado para una presa, en base a la capacidad de embalse y a las características de la zona >

AUTOR: Engel B A, Beasley D B

INSTITUCION: Universidad de Purdue

LUGAR: West Lafayette, IN , USA

NOMBRE: *(Stability E.S. in hazardous waste surface impoundment dikes)*

AREAS DE APLICACION: < geotecnologia ambiental: almacenamientos superficiales de desechos solidos > < estabilidad de taludes >

FUNCION: Evaluacion de la estabilidad y capacidad de carga , para

represas que contengan desechos peligrosos, combinando algoritmos de diagnóstico evaluados a través del sistema experto.

AUTOR: Heydinger A G y Jennings A A.

INSTITUCION: Universidad de Toledo

LUGAR: OH, USA

NOMBRE: *ADSS(advanced decision support system)*

AREAS DE APLICACION: <reconocimiento del terreno> <análisis de flujo de agua:presas >

FUNCION: Analizar filtraciones en cortinas de presas

REP. DEL CONOCIMIENTO: base de conocimiento y base de datos

AUTOR: Sieh D ,King D y Gientke F.

INSTITUCION: Universidad de Colorado

LUGAR: Boulder, CO, USA

NOMBRE: *ESIE(export system development tool)*

AREAS DE APLICACION: <adquisición de datos de laboratorio>

FUNCION: Identificar el tipo de suelo de acuerdo con las recomendaciones de la AASHTO a partir de los resultados de laboratorio. Utilizado como un económico y rápido mecanismo en algunos problemas.

EQUIPO: Microcomputadora

AUTOR: Malasi Siripong.

INSTITUCION: Universidad de Miami.

LUGAR: Coral Gables, Florida, USA

NOMBRE: *GEMS*

AREAS DE APLICACION: <adquisición de información de campo> <reconocimiento del terreno: clasificación de rocas>

FUNCION: Clasificar el tipo de rocas a partir de la información obtenida vía satélite, a través de métodos teóricos y de KBS usados para obtener un manejo de datos eficiente.

EQUIPO: microcomputadora

AUTOR: Papacharalampos D y Koch G S.

INSTITUCION: Universidad de Georgia

LUGAR: Athens GA USA

NOMBRE: *Ocean Drilling Program*

AREAS DE APLICACION: <adquisición de información de campo>

<Reconocimiento del terreno: exploración marina> <educación>
 FUNCION: Ayudar al personal sin experiencia en el desarrollo de las actividades científicas de exploración marina

AUTOR: Niedzwecki J M y Vargo M

INSTITUCION: Universidad de TEXAS A&M

LUGAR: College Station, TX, USA

NOMBRE: SITECHAR (*site characterization*)

AREAS DE APLICACION: <adquisición de datos de campo> <reconocimiento del terreno>

FUNCION: Interpretación de los datos geotécnicos en zonas de probables depósitos de materiales con propiedades ingenieriles y definir la geometría de la zona. Demostrar la utilidad de los S.E. en la caracterización de sitios.

AUTOR: Rehak D R, Christiano P P y Norkin D D

INSTITUCION: Universidad Carnegie-Mellon

LUGAR: Pittsburgh, PA, USA.

NOMBRE: (*An expert system for landslide hazard and risk assessment*)

AREAS DE APLICACION: <adquisición de datos de campo> <análisis de estabilidad de taludes>

FUNCION: Evaluar el riesgo de sitios con posibles problemas de deslizamiento de tierras en el sur de Wales (Reino Unido) y determinar las medidas a tomar para evitarlo o prevenirlo.

REP. DEL CONOCIMIENTO: Tiene tres bases de conocimiento (cada una con información de acuerdo a la gravedad del problema de deslizamiento)

AUTOR: Wislocki A P y Bentley S P.

INSTITUCION: Universidad college de Wales, Escuela de ingenieros.

LUGAR: London, Inglaterra

NOMBRE: CONDORA

AREAS DE APLICACION: <adquisición de datos de campo> <Instrumentación en presas>

FUNCION: Analizar las lecturas de los Instrumentos para monitorear presas en tiempo-real, útil en eventos de crisis como sismos y avenidas

AUTOR: Goguel B, Ozanam O.

INSTITUCION: Coyne et Bellier, Consulting Engineers

LUGAR: Paris, Francia.

NOMBRE: SOIL (*expert system educational software*)

AREAS DE APLICACION: <educación >

FUNCION: Servir como software educacional para la distribución granulométrica y la clasificación de suelos en base a los sistemas de clasificación ASSHTO, UNIFIED o USDA

SOFTWARE: <BASIC>

AUTOR: Malasri S y Budiman J.

INSTITUCION: Universidad de Miami Dept. of Civil & Archit. Eng.

LUGAR: Coral Gables, Florida, USA

NOMBRE: *INTAL (an expert system for the identification of igneous rocks)*

AREAS DE APLICACION: <adquisición de datos de campo> <reconocimiento del terreno: identificación de rocas ígneas>

FUNCION: Identificar rocas ígneas en especímenes obtenidos en campo

SOFTWARE: <BASIC>

EQUIPO: Pequeñas microcomputadoras.

REP. DEL CONOCIMIENTO: reglas

AUTOR: Hawkes D D

INSTITUCION: Universidad Aston, Dept. of Geol. Sci.

LUGAR: Birmingham, Inglaterra

NOMBRE: *(integrated stability assesment system for surface mine design)*

AREAS DE APLICACION: <el terreno como estructura subterránea> <diseño de minas subterráneas>

FUNCION: Auxiliar en el diseño de minas subterráneas, combinando conocimiento de geotecnia, geología y adquisición de datos.

SOFTWARE: <AUTOCAD>

AUTOR: Scoble M J, Handjiogeorgiou J y Lizotte Y.

INSTITUCION: Universidad de Montreal

LUGAR: Quebec, Canada

NOMBRE: *(Evaluation of proposed road corridors by the use of an E.S.)*

AREAS DE APLICACION: <adquisición de información de campo> <reconocimiento del terreno: carreteras>

FUNCION: Evaluar las alternativas de trazo de carreteras, considerando aspectos de geología, topografía, condiciones de agua y propiedades geotécnicas del suelo además de la disponibilidad de materiales de construcción.

SOFTWARE: <PROLOG>

AUTOR: Peatise R, Rosenbaum, M, Hammond P.

INSTITUCION: College of Science & Technology

LUGAR: London, Inglaterra.

NOMBRE: *HRS (Hazard Ranking System)*

AREAS DE APLICACION: <geotecnología ambiental>

FUNCION: Evaluación del riesgo posible de sitios utilizados como depósitos de desechos peligrosos para el ambiente y para la salud humana (MODELO DE MITRE)

SOFTWARE: <OPSS>

EQUIPO: PC Compatible

REP. DEL CONOCIMIENTO: Reglas de producción, OPSS acepta funciones externas (LISP) para trabajar con soluciones numéricas o en ambiente de programación numérica.

INFERENCIA: forwar(directamente) y backward(indirectamente)
AUTOR: LAW H. K., ZIMMIE F. T., CHAPMAN R. D.
INSTITUCION: Rensselaer Polytechnic Institute Troy
LUGAR: New York , USA.

NOMBRE: CESSUL

AREAS DE APLICACION: <ADQUISICION DE INFORMACION DE CAMPO> <RECONOCIMIENTO DEL TERRENO>
FUNCION: Este sistema experto fue construido para dar las especificaciones relativas a la Investigacion de campo "in situ".
INSTITUCION: UNIVERSIDAD SAVOIE
LUGAR: CHAMBERY FRANCE

NOMBRE: *Expert systems in seismic exploration.*

AREAS DE APLICACION: <GEODINAMICA> <sisrnologia>
FUNCION: Aplicacion de los SE en la exploracion sismica :terrestre y marina.
INSTITUCION: INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE.
LUGAR: I.F.P. FRANCIA

NOMBRE: SOILSAMP

AREAS DE APLICACION: <geotecnologia ambiental> <sondeos y penetraciones>
FUNCION: Optimizar las estrategias de muestreo en suelos conlaminados.
REP. DEL CONOCIMIENTO: METODOS MATEMATICOS Y GEOESTATICOS
INSTITUCION: CHEMIELINCO, UTRECHT, NETH.
LUGAR: No definido

NOMBRE: AGIS (*Automated Geophysical Interpretation of Seismic Images*)

AREAS DE APLICACION: <geodinamica:sisrnologia>
FUNCION: Automatizar la interpretacion de imagenes sismicas (aprovechable para detectar algunas formaciones geologicas de interes:fallas, anticlinales, arrecifes escollos ect)
INSTITUCION: DEPT. OF ELECTR. ENG. DE LA UNIVERSIDAD THESSALONIKI
LUGAR: GRECIA

NOMBRE: *A KBS controlled by (IQS) for segmentation of seismic sections*

AREAS DE APLICACION: <GEODINAMICA> <sisrnologia>
FUNCION: Es un KBS para la segmentacion de secciones sismicas, ccnrolada por un IQS(Iterative Quadtree Splitting)
INSTITUCION: UNIVERSIDAD MED. CAROLINA DEL SUR , DEPT. OF BIOMETRY
LUGAR: USA

NOMBRE: SNA (Seismic Networks Analyser)

AREAS DE APLICACION: <GEODINAMICA> <SISMOLOGIA>

FUNCION: Interpretacion de la senales sismicas obtenidas de una red local sismometrica.

INSTITUCION: INSTITUTO DI GEODESIA E GEOFISICA , UNIVERSIDAD DE TRIESTE

LUGAR: TRIESTE ITALIA.

NOMBRE: GEOTOX-PC(A New Hazardous Waste Management tool)

AREAS DE APLICACION: <Geotecnologia ambiental> <reconocimiento del terreno>

FUNCION: Asistir en la evaluacion de sitios utilizados como depositos de desechos peligrosos(substancias quimicas toxlcas ect) y ayudar al ingeniero ambiental en la toma de decisiones para remediar la situacion.

SOFTWARE: (ADA PROLOG)

EQUIPO: GEOTOX(Mainframe system) GEOTOX-PC(IBM AT COMPATIBLE)

REP. DEL CONOCIMIENTO: REGLAS Y FRAMES

INFERENCIA: REDES ASOCIADAS

INCERTIDUMBRE: TEOREMA DE BAYES

INSTITUCION: Universidad de Lehigh, Depto. de Civil Eginneering

LUGAR: Bethlehem, PA:USA.

NOMBRE: Expert System for Asphalt-Paving Construction Inspection.

AREAS DE APLICACION: <construccionn

geotecnica:pavimentos> <educacion>

FUNCION: Prover de conocimiento experto a los inspectores de pavimentos acerca de como identificar y corregir deficiencias en la construccion de carreteras de asfalto.

SOFTWARE: RULESMaster 2 expert system shell program

EQUIPO: IBM PC Compatible.

REP. DEL CONOCIMIENTO: Reglas de produccion.

INSTITUCION: Universidad de Rutgers

LUGAR: Piscataway:NJ