

26
25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON**

**“INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA
AL PREDISEÑO DE CIMENTACIONES
PARA EQUIPO”**

T E S I S

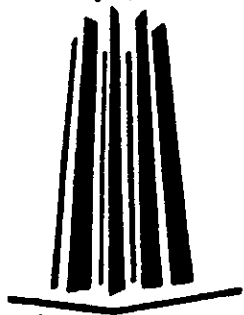
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

HECTOR SALAZAR MONREAL

ASESOR: ING GUSTAVO JIMÉNEZ VILLEGAS



México

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

HÉCTOR SALAZAR MONREAL
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 31 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. GUSTAVO JIMÉNEZ VILLEGAS pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL PREDISEÑO DE CIMENTACIONES PARA EQUIPO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

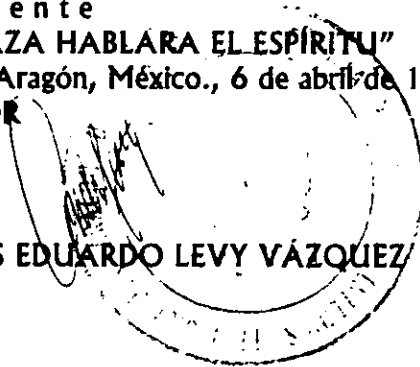
Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México., 6 de abril de 1998

EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ



c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura del Area de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/IIa.

A TODOS AQUELLOS SIN OPORTUNIDAD DE ESTUDIO

**Gracias a Papá, a Mamá, y a mi hermana,
a quienes debo todo lo que soy
y por los cuales todo esto ha sido posible.**

**Gracias al Ing. Gustavo Jiménez Villegas
por compartir sus conocimientos y
por su acertada dirección.**

**Gracias al Ing. Raúl López Chávez y al
M. En C. Manuel Cervantes Martínez
por todos sus estímulos y su invaluable guía
en la realización de este trabajo.**

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL PREDISEÑO DE CIMENTACIONES PARA EQUIPO

INDICE

Indice de tablas y figuras.

Nomenclatura.

Introducción.

1.- Marco de referencia.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Objetivo.....	7
1.3. Alcances.....	8
2.- Generalidades sobre inteligencia artificial.....	9
2.1. Antecedentes.....	10
2.2. Áreas de la inteligencia artificial.....	10
2.3. Importancia del conocimiento en la inteligencia artificial.....	11
2.4. Sistemas expertos.....	11
2.4.1. Sistemas expertos y programas convencionales.....	13
2.4.2. Estado actual en el desarrollo de sistemas expertos.....	14
2.4.3. Ingeniería de conocimientos.....	15
2.4.4. Representación del conocimiento.....	15
2.4.5. Formas específicas de conocimiento.....	18
2.4.6. Interfaz con el usuario.....	19
2.4.7. Arquitectura básica de un sistema experto.....	20
2.4.8. Procedimiento general para el desarrollo de un sistema experto...	22
2.4.9. Lenguajes de programación para sistemas expertos.....	23
3.-Proceso de desarrollo de la ingeniería típica.....	26
3.1. Antecedentes.....	27
3.1.1. Información electromecánica.....	27
3.1.2. Información geotécnica.....	28
3.1.3. Información estructural.....	28
3.2. Acciones.....	28
3.2.1. Acciones permanentes.....	29
3.2.2. Acciones variables.....	29
3.2.3. Acciones accidentales.....	29
3.3. Clasificación de la maquinaria.....	30

3.3.1. Maquinaria y equipo cuyas vibraciones afectan al medio.....	30
3.3.1.1. Máquinas reciprocantes.....	30
3.3.1.2. Máquinas rotatorias.....	31
3.3.1.3. Máquinas de impacto.....	31
3.3.2. Maquinaria y equipo de alta sensibilidad.....	31
3.4. Clasificación de las cimentaciones para maquinaria.....	32
3.4.1. Cimentaciones de bloque.....	32
3.4.2. Cimentaciones tipo caja.....	32
3.4.3. Cimentaciones formadas por marcos.....	32
3.4.4. Cimentaciones tipo muros.....	33
3.4.5. Cimentaciones piloteadas.....	33
3.5. Proceso de diseño estructural.....	33
3.5.1. Aspectos fundamentales.....	34
3.5.2. Clasificación del diseño.....	35
3.5.3 Criterios de diseño.....	36
3.5.3.1. Estado límite de falla.....	36
3.5.3.2. Requisitos de servicio.....	37
3.5.4. Normatividad.....	38
3.5.5. Capacidad de soporte del suelo.....	39
3.5.6. Diseño estructural.....	40
3.5.6.1. Condición Estática.....	42
3.5.6.2. Condición Pseudodinámica	42
3.5.6.3. Pernos de anclaje.....	43
3.5.6.4. Predimensionamiento.....	45
3.6. Elaboración de la memoria de cálculo.....	45
3.7. Ejemplo.....	46
3.7.1. Datos del problema.....	46
3.7.2. Desarrollo.....	47
3.7.3. Geometría final.....	50
3.7.4. Cálculo del armado.....	51
3.7.5. Secciones.....	51
3.8. Dibujo.....	52
3.9. Volumen de obra.....	54
3.9.1. Generación de cantidades de obra.....	54
3.9.2. Catalogo de conceptos.....	57
4.- Desarrollo del sistema experto.....	60
4.1. Clasificación del conocimiento en ingeniería civil.....	61

4.2. Tareas en ingeniería civil.....	62
4.3. Ingeniería estructural asistida por computadora.....	63
4.4. Sistema experto de diseño.....	65
4.4.1. Arquitectura del sistema.....	65
4.4.2. Base de conocimientos.....	67
4.4.2.1. Adquisición de conocimientos.....	68
4.4.3. Formalización de conocimientos.....	69
4.4.3.1. Reglas de producción.....	69
4.4.4. Motor de inferencia.....	75
4.4.5. Módulo de explicación.....	76
4.5. Emisión de la memoria de cálculo.....	77
4.6. Volumen de obra.....	77
4.6.1. Metodología para la cuantificación.....	78
4.7. Interfaz de usuario.....	79
4.8.1. Ventana principal.....	79
4.8.2. Ventana de datos adicionales.....	81
4.8.3. Ventana de resultados.....	82
5.- Aplicaciones.....	84
5.1. Ventana principal.....	85
5.2. Ventana de Datos Adicionales y reglamentación.....	87
Conclusiones.....	93
Bibliografía.....	96
Anexo 1 Glosario de términos	
Anexo 2 Formatos	

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

- Figura 1.1.** Relación entre la ciencia de la computación y sus aplicaciones en Ingeniería
- Figura 2.1.** Áreas de investigación de la inteligencia artificial
- Tabla. 2.1** Niveles de Software
- Figura 2.2.** Arquitectura de un sistema experto
- Figura 3.1.** Perno tipo A
- Figura 3.2.** Perno tipo B
- Figura 3.3.** Perno tipo H
- Tabla 3.1.** Catalogo de conceptos de obras de Pemex para cimentaciones de maquinaria
- Figura 4.1.** Tareas en Ingeniería Civil
- Figura 4.2.** Arquitectura de CIMEQ
- Figura 4.3.** Ventana Principal
- Figura 4.4.** Ventana de datos Adicionales
- Figura 4.5.** Ventana de Resultados

NOMENCLATURA

- As** Área de refuerzo longitudinal en tensión en vigas, o área total de refuerzo longitudinal en columnas cm^2 .
- F_R** Factor de resistencia.
0.8 para cortante y torsión
0.7 para aplastamiento
- f 'c** Resistencia especificada del concreto a compresión, kg/cm^2 .
- f_y** Esfuerzo especificado de fluencia del acero, kg/cm^2 .
- p** $\frac{A_s}{bd}$ (en vigas).
- a_s** Área transversal del refuerzo colocado en la dirección que se consideraba, por unidad de ancho de la pieza (cm^2/cm). El ancho mencionado se mide perpendicularmente a dicha dirección y a X_1 .
- X₁** Dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo (cm).
- d_b** Diámetro nominal de una varilla.

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

- Figura 1.1.** Relación entre la ciencia de la computación y sus aplicaciones en Ingeniería
- Figura 2.1.** Áreas de investigación de la inteligencia artificial
- Tabla. 2.1** Niveles de Software
- Figura 2.2.** Arquitectura de un sistema experto
- Figura 3.1.** Perno tipo A
- Figura 3.2.** Perno tipo B
- Figura 3.3.** Perno tipo H
- Tabla 3.1.** Catalogo de conceptos de obras de Pemex para cimentaciones de maquinaria
- Figura 4.1.** Tareas en Ingeniería Civil
- Figura 4.2.** Arquitectura de CIMEQ
- Figura 4.3.** Ventana Principal
- Figura 4.4.** Ventana de datos Adicionales
- Figura 4.5.** Ventana de Resultados

NOMENCLATURA

- As** Área de refuerzo longitudinal en tensión en vigas, o área total de refuerzo longitudinal en columnas cm^2 .
- F_R** Factor de resistencia.
0.8 para cortante y torsión
0.7 para aplastamiento
- f 'c** Resistencia especificada del concreto a compresión, kg/cm^2 .
- f_y** Esfuerzo especificado de fluencia del acero, kg/cm^2 .
- p** $\frac{A_s}{bd}$ (en vigas).
- a_s** Área transversal del refuerzo colocado en la dirección que se consideraba, por unidad de ancho de la pieza (cm^2/cm). El ancho mencionado se mide perpendicularmente a dicha dirección y a X_1 .
- X₁** Dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo (cm).
- d_b** Diámetro nominal de una varilla.

ϕ	Factor de reducción de resistencia
	Flexión sin carga axial 0.90
	Cortante y torsión 0.85
	Aplastamiento 0.70
d	Peralte total del bloque
b	Lado más corto del bloque
L	Lado más largo del bloque
Df	Profundidad de desplante del bloque
W_E	Peso del equipo
q	capacidad de carga del suelo
F.C	Factor de carga ,Cuándo se trate de edificaciones del grupo A, el factor de carga para este tipo de combinación se tomará igual a 1.5. Factor de carga para cargas accidentales se tomara igual a 1.1.

INTRODUCCIÓN

Debido a la actual globalización de las economías, y a los tratados internacionales de libre comercio, surge la apertura nacional a los mercados internacionales de comercio, provocando con esto la necesidad de que México se actualice y modernice en todos los ámbitos, sobre todo en materia industrial. Petróleos Mexicanos como pieza fundamental de la economía nacional a nivel industrial también se moderniza y actualiza para satisfacer de manera adecuada los requerimientos actuales de competitividad y desarrollo. Parte importante de esta modernización es la automatización por medio de la computación.

Uno de los objetivos de la computación es la creación de instrumentos que imiten, o en algún caso, sustituyan al ser humano en la resolución de cierto tipo de problemas (automatización). Esta idea de construir instrumentos que ayuden al ser humano en la realización de alguna tarea es común a todas las ingenierías. Una diferencia fundamental entre los instrumentos construidos por la computación y los del resto de las ingenierías, es que estos últimos sustituyen al ser humano en la realización de tareas físicas y aquellos no; en cualquier caso, todos estos instrumentos ayudan o sustituyen capacidades físicas del ser humano.

La computación, sin embargo, se diferencia de todas ellas en que construye instrumentos que imitan, aumentan, facilitan o sustituyen tareas psíquicas del ser humano. Inicialmente, imitaron la capacidad de cálculo matemático, pero rápidamente, superaron y sustituyeron a las personas en la realización de esta tarea. A partir de ahí, se han construido instrumentos informáticos que han imitado capacidades del ser humano cada vez más complejas: cálculo, almacenamiento y manejo de datos, realización de algoritmos, almacenamiento y manejo de información, y, en los últimos tiempos, ejecución de tareas consideradas inteligentes.

Para la imitación de tales capacidades "psíquicas", los instrumentos construidos por la computación, los sistemas informáticos, están compuestos de dos partes fundamentales: el hardware (componente físico y tangible: la computadora) y el software (componente lógico e intangible: los programas).

Además, la aplicación de la computación en ingeniería tiene actualmente un lugar preponderante, prácticamente se utiliza en cualquiera de las tareas que realiza el ingeniero (ver fig. 1.1). Ésto se debe principalmente al espectacular desarrollo del equipo y programas de cómputo, así como de las nuevas metodologías en ingeniería que integran cada vez más las herramientas que ofrece la computación. Y puede decirse que los avances en la computación van de la mano con los avances en ingeniería, tal, que es frecuente que las aplicaciones motiven y dirijan su progreso.

Durante las décadas de los 60's y 70's la computación ofreció grandes avances en la creación de algoritmos numéricos, graficación y manipulación de grandes bases de datos. De esta forma los problemas cuya solución podía plantearse por medio de un algoritmo podían ser resueltos con éxito. Sin embargo, aquellos en que no es posible establecer un algoritmo y que requieren del juicio y experiencia del ingeniero no habían podido ser tratados adecuadamente. Ahora se puede proporcionar a la computadora aspectos cualitativos de la ingeniería que no pueden ser capturados como números o algoritmos, en otras palabras, ahora se puede programar razonamiento conceptual, reglas para evaluar, juicios, etc. La rama de la computación que ofrece las metodologías de programación para hacer lo anterior es la **inteligencia artificial**, específicamente el área de los **sistemas expertos** basados en conocimiento (SEBC).

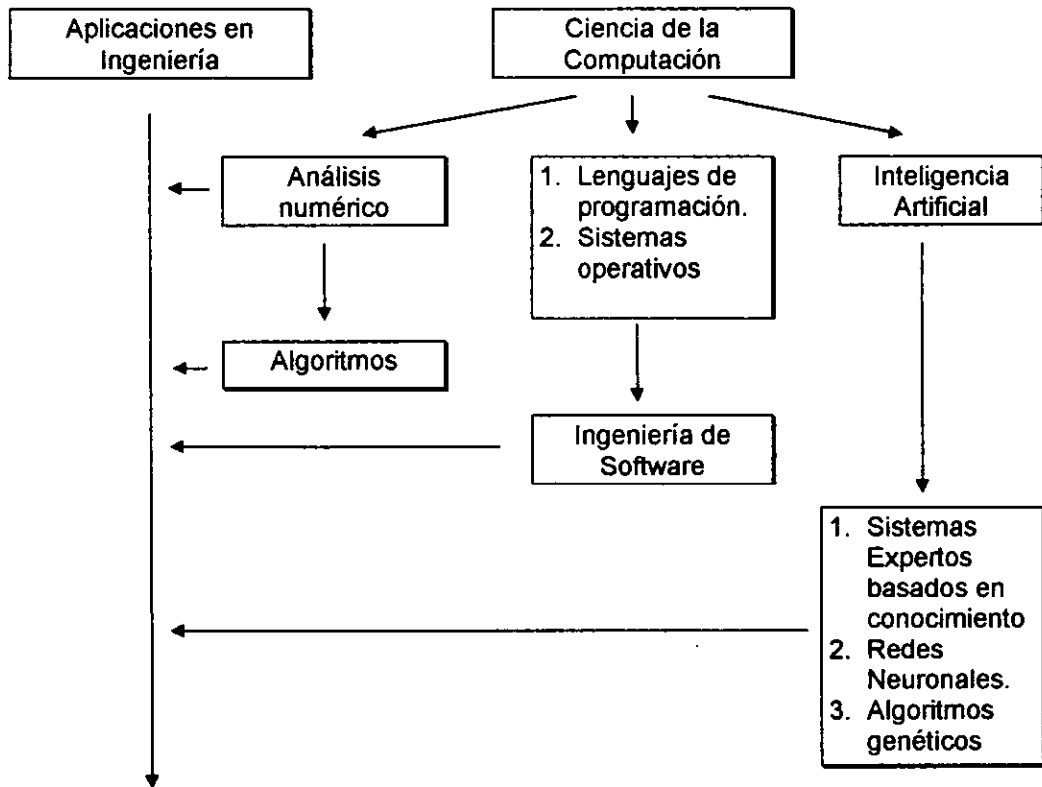
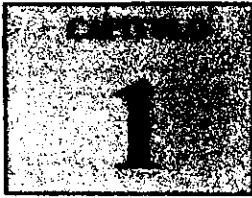


Fig. 1.1. Relación entre la ciencia de la computación y sus aplicaciones en Ingeniería



MARCO DE REFERENCIA

En la mayoría de los proyectos de ingeniería desarrollados en el Instituto Mexicano del Petróleo, se presenta la necesidad de considerar diversos equipos que formarán parte integral de las instalaciones. Es por ello que atendiendo a esta problemática y tomando en cuenta la recurrencia con que se presenta el diseño de la cimentación para dichos equipos, se considera conveniente implementar un programa de cómputo para semiautomatizar la ingeniería, expresada a través de documentos que son generados de manera rutinaria (memorias de cálculo, cuantificación, etc.), en la que es necesario invertir diferentes recursos, como son horas-hombre y tiempo con sus implicaciones económicas correspondientes.

De lo anterior surge la necesidad de contar con una herramienta que permita un diseño adecuado y seguro en el menor tiempo posible, reportando en el corto plazo grandes beneficios al optimizar los recursos antes mencionados, lo cual es factible lograr mediante un programa de cómputo generado a partir de las diversas especificaciones de que se disponen para cada problema en particular, buscando alcanzar una confiabilidad total en los resultados obtenidos.



1.1 ANTECEDENTES

Desde sus orígenes el hombre ha deseado liberarse de las tareas más pesadas y laboriosas que realiza y ha estado constantemente empeñado en la búsqueda de la resolución de problemas que se le presentan en su vida cotidiana, científica y social; que van desde la explicación del comportamiento de fenómenos, hasta aquellos que son creados por curiosidad o distracción, esto ha ocupado el tiempo y requerido esfuerzos adicionales del hombre.

Desde los comienzos de la informática algunos quisieron ver en la computadora un potencial de inteligencia humana (ENIAC, primer calculador electrónico, nacido en 1944), de hecho, sin los cálculos realizados por las nuevas máquinas, se necesitaría una extensa labor de los hombres inteligentes. En la década de los cincuenta aparece en psicólogos y pedagogos un interés especial por encontrar métodos generales de resolución de problemas y, en los investigadores en el área, un esfuerzo continuo por encontrar algún mecanismo para resolver problemas, y que además eliminen eficientemente la costosa y lenta programación de cada paso de procesamiento; esto junto con los avances en el área de la computación, permitieron desarrollar procesos casi automáticos para la resolución de problemas; marcando la aparición de la inteligencia artificial (IA). Se comienzan a escribir programas de tipo simbólico para la resolución automática de problemas, el conocimiento deja de ser tratado únicamente desde el punto de vista de los algoritmos tradicionales.

El origen de la IA (nombre debido a John McCarthy¹, pionero de este campo) se remonta a la conferencia sobre informática teórica que tuvo lugar en 1956 en el Dartmouth College. En ella aparecieron realizaciones de sistemas con capacidad para desarrollar juegos (juego de damas de Samuels), demostrar teoremas (the logic theorist de Newell y Simon) y se acuñó el nombre de IA y el concepto de sistemas inteligentes a los que se vaticinaba un éxito inmediato en la década siguiente.

En oposición a la informática tradicional, donde las computadoras manipulan fundamentalmente datos numéricos, la IA utiliza máquinas para manipular informaciones simbólicas (comprensión del lenguaje natural, traducción automática, juegos, demostración de teoremas, etc.). En seguida, y a pesar de los progresos teóricos y de algunos programas espectaculares, la decepción sustituyó al optimismo de los inicios. Los algoritmos empleados se basaban en análisis, más o menos exhaustivos, de todas las posibilidades que se podían presentar

1. Cuenca José, Fernández G. "Inteligencia artificial: Sistemas Expertos". Alianza editorial, p.p. 10-21



y por consiguiente, los tiempos de ejecución aumentaron en forma exponencial en función de la complejidad de los problemas, esto se denomina explosión combinatoria; este fracaso relativo, se debió en buena parte a que los investigadores creyeron posible la construcción de un sistema general de resolución de problemas (General Problem Solver : GPS) basado en el mero enunciado de un método de resolución y en algunos datos de partida. Era por lo que los programas de aquella época no utilizaban, o lo hacían mínimamente, el conocimiento de los especialistas de los temas tratados.

Algunos investigadores decidieron entonces cambiar por completo el enfoque del problema: restringieron sus ambiciones a un dominio específico e intentaron reproducir la forma en que los expertos efectuaban su razonamiento (deducciones, saber hacer,...). Para ello, se apoyaron fundamentalmente en una masa de conocimientos sobre el tema tratado, el mismo sistema que utilizaban los especialistas del dominio. Los Sistemas Expertos (SE) habían nacido.

El objetivo de aquellos programas no era ya el intentar encontrar la solución óptima de un problema, sino, más bien, el de obtener la mejor respuesta posible según el estado de conocimiento del dominio considerado. Esta respuesta correspondía a aquella a la cual llegaban los expertos, por lo que convenía introducir en los SE su experiencia y su modo de razonamiento, con el fin de proporcionar a los usuarios menos competentes una ayuda en la toma de decisiones. Este fenómeno es el reflejo del compromiso entre generalidad y eficacia, y se debe a la considerable masa de conocimientos que ha tenido que acumular a lo largo de los siglos, en todas las disciplinas.

Los SE tienen en cuenta esta circunstancia, pues está claro que para obtener programas con realizaciones de alta calidad, hace falta que dichos programas trabajen en áreas bien definidas, sepan aprender el conocimiento en esa especialidad, lo organicen y lo estructuren. Una de las primeras investigaciones en este aspecto, fueron las realizaciones de Feigenbaum, Buchanan y Lederberg¹ desde 1965 con el programa DENDRAL, ya que se interesaron en la representación de los mecanismos de razonamiento inductivo y empírico concernientes al problema de "construir la mejor hipótesis que dé una buena interpretación de un conjunto de datos".

1. Chatain J-N. "Sistemas Expertos. Metodos y herramientas", Ed. Paraninfo, p-p 28-36



Sin embargo, a pesar de los considerables progresos obtenidos en la búsqueda de mecanismos de razonamiento en dominios particulares, existía aún una especial manía en desarrollar herramientas generales de representación del conocimiento.

Esta obstinación permitió que la investigación de los SE fuese aceptada como una disciplina integrante de la IA. En el curso de un periodo normal, existe un consenso casi general en fijar las investigaciones a las que se debe dar prioridad y el tipo de explicaciones a atribuir. Los fundamentos de un modelo no se tienen en cuenta y la investigación avanza lentamente en su interior, viene, después, el momento en que se plantean determinados problemas urgentes en el modelo de desarrollo, hasta que un momento crítico o un número cada vez mayor de investigadores insatisfechos lanzan las bases de un nuevo modelo. Las teorías de este nuevo modelo no son una extensión de los anteriores, sino que permiten aprender mejor los problemas que han quedado sin respuesta, explicando de forma menos precisa determinados puntos que parecían estar claros anteriormente.

Esta nueva ciencia provoca inevitablemente debates entre los partidarios de las dos teorías. Esto es lo que sucedió a la IA y a los SE, siendo en el momento actual, la investigación sobre los SE la punta de lanza de la IA. A mitad de los años 70 habían comenzado a aparecer varios SE y algunos investigadores que reconocían el papel fundamental del conocimiento en estos sistemas, intentaron desarrollar una teoría general de representación del conocimiento y un sistema de resolución asociado. Después de algunos años, se vio de forma evidente que estos esfuerzos tenían éxitos muy limitados por las mismas razones que las que habían causado la muerte de las teorías de los GPS: el conocimiento como objetivo de la investigación es demasiado vasto y variado para poder ser representado y explotado en todos los casos por un único punto de vista.

La lección de estas experiencias se puede expresar con la cita de Feigenbaum: " la potencia de un SE procede del conocimiento que posee y no de un formalismo en particular ni del motor de inferencia que utilice". Por el contrario, diversos enfoques diferentes de representación del conocimiento, adaptados a problemas ya estudiados, suministran muy buenos resultados a los SE que los utilizan. Después de todo y aunque el ritmo del desarrollo de la inteligencia artificial ha sido inferior a lo previsto, sí se van cumpliendo algunas de las expectativas de estos primeros momentos.



Los SE son una rama de la IA, y representan la transición del procesamiento de datos al procesamiento del conocimiento y sustituyen los algoritmos por mecanismos de inferencia, teniendo como característica, gracias a su gran capacidad de comunicar, el explicar porqué se procede de una forma u otra y justificar sus resultados.

Este concepto de los SE, actualmente en plena ebullición, fue introducido por Feigenbaum en 1977 como consecuencia de la experiencia en el proyecto DENDRAL¹, sistema capaz de inferir la estructura de moléculas químicas a partir de datos primarios resultantes de ensayos con el producto cuya estructura se quiere identificar.

En pocos años, los SE han pasado de la confidencialidad de los laboratorios de investigación a la portada de diarios, incluso no informáticos. A pesar del pequeño número actual de aplicaciones industriales y de una cierta inmadurez del dominio, las industrias, el ejército y las sociedades de servicio han comprobado que ocurre algo nuevo, que se gesta una revolución de la metodología informática, que el viejo mito de la inteligencia artificial y del robot renace de sus cenizas después de sus sinsabores de los años 60.

La novedad introducida por los SE en relación a la informática clásica es esencialmente metodológica. Consiste en separar lo más posible el conocimiento de un dominio de la forma de utilizar este conocimiento lo que corresponde a considerar todo el conocimiento de un dominio como información para un sistema, que es entonces un nuevo enfoque sobre como manejar dicha información y que los resultados obtenidos al final, simulen el proceso que siguen los expertos humanos. Esta idea es simple, pero corresponde a un cambio radical en la metodología de programación. Sin embargo en realidad podemos decir que un SE sólo se comporta como un experto humano de manera aproximada, ya que hasta el momento se desconoce gran parte de los procesos mentales y motores de búsqueda que permiten al cerebro buscar y seleccionar las relaciones convenientes que hacen posible solucionar un problema. En la mayor parte de los casos, hace falta aún emplear lo que hace el propio hombre y que la IA no puede todavía reemplazar: la inteligencia natural.

1. Cuena José, Fernández G. "Inteligencia artificial: Sistemas Expertos". Alianza editorial, p.p. 10-21



En el desarrollo del cuerpo de conocimientos que constituyen hoy la IA y los SE, cabe mencionar cuatro etapas :

- 1) (1956-1970) Etapa primaria de creación o invención de las técnicas básicas para representar el comportamiento inteligente tanto a nivel de métodos como de lenguajes. En esta etapa se marcaron dos líneas de investigación:

A) Métodos de búsqueda heurísticos.

B) Métodos de deducción automática.

Los SE más importantes y representativos de esta etapa son:

A) DENDRAL (1969 Stanford) Deduce la estructura química molecular de un compuesto orgánico.

B) MACSYMA (1971 Mit) Experto en cálculo diferencial e integral mediante manipulación simbólica de expresiones algebraicas.

- 2) (1970-1981) Etapa de prototipos en que se desarrollan proyectos más complejos pero todavía limitados a laboratorios. Esta es una etapa de consolidación, en ella se construyeron sistemas expertos que hasta el día de hoy se estudian, y de los cuáles se siguen utilizando sus formalismos de representación de conocimiento y de inferencia para la construcción de otros sistemas expertos.

Los SE más importantes y representativos de esta etapa son:

A) MYCIN (1976 Stanford) Diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas.

B) PROSPECTOR (1976 SRI) Para exploración geológica.

- 3) (1977-1981) Etapa de experimentación plena en la cual se empiezan a consolidar las ideas obtenidas en la etapa anterior, sobre todo en el área de representación del conocimiento. Comienzan a aparecer los "esqueletos" (Shells) o sistemas esenciales para la construcción de los SE.



Los SE más importantes y representativos de esta etapa son:

- A) PUFF (1980 Kunts) Para enfermedades pulmonares.
- B) ONCOCIN (1981 Shortliffe) Para protocolos del cáncer.
- 4) (1981 a la fecha) Etapa de difusión industrial, además de que surgen lenguajes especializados así como empresas dedicadas al desarrollo y comercialización de los SE.

Algunos de los SE más difundidos a la fecha son:

- A) XCON Configuración de computadoras.
- B) Sin nombre (compañía TOYOTA) Para la autorización de tarjetas de crédito.

1.2 OBJETIVO

El presente trabajo tendrá como objetivo la creación de un SE para el diseño pseudodinámico de cimentaciones para equipo rotatorio (**CIMEQ**), es decir, un sistema capaz de obtener las dimensiones y refuerzo de una cimentación para equipo, que sea funcional y tenga grado de seguridad adecuado contra la falla estructural y la falla del suelo, todo esto en base a las especificaciones y solicitudes de cada cimentación en particular; reportando en el corto plazo los beneficios siguientes:

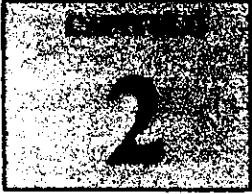
- 1) El resultado del trabajo es considerado de gran aplicación y utilidad inmediata en proyectos desarrollados para PEMEX.
- 2) En caso de que el proyecto sufra alguna modificación no se tendría que invertir tiempo en un rediseño, y recuantificación.
- 3) Se logrará optimizar el empleo de los diferentes recursos.
- 4) El presente trabajo servirá también como precedente en el desarrollo futuro de diversos sistemas, ampliando cada vez más el campo de la automatización en esta área técnica



1.3 ALCANCE

El alcance del trabajo abarcará:

- 1) Recopilación de información acerca de las metodologías de diseño (memorias de cálculo, normatividad, reglamentación y recomendaciones).
- 2) Análisis y depuración de la metodología elegida, tomando en cuenta la normatividad aplicable en cada caso.
- 3) Adecuación e Implementación del proceso de diseño elegido con las herramientas disponibles para el desarrollo de un SE.
- 4) Dado que la tecnología en este campo de la IA y a que los SE en ingeniería estructural son herramientas hasta ahora novedosas en el Instituto Mexicano del Petróleo, no se cuenta a la fecha con un SE de características similares a este que hubiera servido como plataforma para el perfeccionamiento de dichos sistemas, es por ello que CIMEQ esta limitado en esta primera etapa prototipo, a realizar el diseño pseudodinámico o prediseño de cimentaciones para maquinaria, dada la alta complejidad en el desarrollo de esta tecnología; la condición dinámica o diseño dinámico será el siguiente paso a desarrollar dentro de una segunda etapa de perfeccionamiento de CIMEQ.
- 5) CIMEQ será capaz de proporcionar de manera automática la memoria de cálculo y la cuantificación correspondiente, cabe mencionar que la realización, también automática del dibujo, esta considerada dentro de la segunda etapa de desarrollo, sin embargo, en el presente trabajo se encuentran ya algunos lineamientos de forma teórica bajo los cuales CIMEQ desarrollará esta capacidad.
- 6) Lineamientos de operación y resultados mediante ejemplos.



GENERALIDADES SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El fin último de la Inteligencia Artificial es buscar y proporcionar a los hombres una mejora en sus actividades y un aumento de sus capacidades productivas mediante la automatización de las tareas rutinarias del pensamiento y del razonamiento, optimizando los recursos tanto humanos, técnicos y económicos de los que dispone. Y más a largo plazo, un entendimiento concreto de la inteligencia, que facilite, por una parte, la apreciación de su sofisticación y, por otra, el intentar sintetizarla. Todo lo anterior sintoniza perfectamente con la finalidad de la ciencia y la técnica en general, que estriba en conseguir la mejora de algún aspecto humano.



2.1 ANTECEDENTES

Establecer una definición precisa es un arduo trabajo y en el caso de la inteligencia artificial (IA) por tratarse de una disciplina muy joven y por incluir el término inteligencia el cual se asocia directamente con el ser humano, hace que la situación sea complicada. En general, la inteligencia artificial es la rama de la computación que se ocupa de que las máquinas hagan lo que hasta ahora sólo pueden hacer las personas, como realizar actividades físicas, de raciocinio o con capacidad de aprender y adquirir experiencia, además se ocupa de los conceptos, la teoría y la práctica de cómo construir dichas máquinas para que resuelvan problemas de forma similar a como los resolverían los seres humanos. Tal vez el ejemplo más representativo de la aplicación de la IA por el éxito que están alcanzando en la vida cotidiana, sean los sistemas expertos basados en conocimiento (SEBC), y en trabajos muy especializados, los robots, que han ayudado al hombre a llevar a cabo tareas difíciles y sobre todo peligrosas. Desde luego, esta definición tiene un alcance limitado por su referencia al estado actual de las computadoras y por no incluir áreas que no pueden aún ser resueltas por la gente o las computadoras. Sin embargo, se evitan las cuestiones filosóficas que intentan definir lo que es la inteligencia y lo que es artificial¹.

Otra definición dice que la IA es la rama de la computación que trata con razonamiento simbólico y con la solución de problemas. Otra más amplia menciona que la IA es área de la computación que se ocupa de los conceptos y métodos de inferencia simbólica por medio de una computadora, y de la representación simbólica del conocimiento que se utiliza en la creación de inferencias².

2.2 ÁREAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La investigación en IA se puede clasificar en siete categorías (ver fig. 2.1), éstas son: el procesamiento del lenguaje natural, la robótica, el modelado de los procesos mentales del ser humano, solución heurística de problemas, representación del conocimiento y sistemas expertos³. Estas áreas están interrelacionadas de forma estrecha, por ejemplo, en el área de los sistemas expertos se utilizan las técnicas de IA para la representación del conocimiento y para la solución de problemas.

El modelado de los procesos mentales tiene como fin entender los mecanismos del pensamiento y razonamiento humano que determinan la capacidad de conocer y aprender; esta área es la que alimenta a todas las demás áreas de la inteligencia artificial.

1. Rich E and Knight K.. 1991. "Artificial Intelligence". McGraw-hill.

2. Adeli H..1990. "Expert Systems In Construction and Structural Engineering". Chapman and Hall.

3. Carrico M. A. Girard J. And Jones J. "Building Knowledge Systems: Developing and Managinh Rule-based Aplications". McGraw-Hill



El procesamiento del lenguaje natural se refiere a la habilidad que debe poseer la computadora para comprender un lenguaje humano (español, inglés, etc.); la robótica es el estudio de las máquinas para que sean capaces de realizar trabajo mecánico por medio de funciones que demuestren inteligencia y autonomía, es decir, que se comporten físicamente lo más parecido a los seres humanos; cabe mencionar que el ser humano ha utilizado la robótica sobre todo en el sentido de relevarlo en trabajos peligrosos y riesgosos; la solución heurística de problemas se refiere a la solución de problemas en base a la experiencia o pericia humana, las cuales se adquieren con el paso del tiempo; la representación del conocimiento y los sistemas expertos serán analizados más adelante.

2.3 IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO EN IA

Una de las conclusiones de lo anterior es que la inteligencia requiere conocimiento; algunas características inconvenientes del conocimiento son que es muy basto, muy difícil de caracterizarlo de forma precisa, cambia constantemente y es diferente a una colección de datos por estar organizado de tal forma que existe una correspondencia con la forma en que será empleado. Tal es su importancia que una técnica de IA puede entenderse como aquella que manipula el conocimiento que presenta los siguientes atributos: generalizaciones en las que no es necesario representar cada situación individual, en lugar de eso se agrupan por propiedades, cuando no puede hacerse lo anterior entonces sólo es posible obtener datos en lugar de conocimiento; puede ser comprendido por las personas en los mismos términos con los que se organizó; su actualización por modificaciones o errores es un proceso sencillo; puede servir en un gran número de situaciones aún a pesar de no ser preciso o estar completo; y, superar sus limitaciones por medio de agotar todas las posibilidades que generalmente se consideran en la solución de un nuevo problema.

2.4 SISTEMAS EXPERTOS

La tecnología representada por los sistemas expertos (SE) actuales, surge de las técnicas de IA que han sido objeto de amplias e intensivas investigaciones a nivel mundial desde finales de la década de 1950. La investigación específica en SE realmente comenzó a mediados de los años sesenta, varios sistemas se desarrollaron entre 1965 y 1970; la mayoría de ellos fueron de alcance muy limitado y se orientaron hacia juegos o temas altamente académicos e idealizados.

Los SE se emplean para ejecutar una variedad muy complicada de tareas que en el pasado solamente podían llevarse a cabo por un número limitado de personas expertas intensamente entrenadas. A través de la aplicación de las técnicas de IA, los SE captan el conocimiento básico que permite a una persona desempeñarse como un experto frente a problemas complicados; tal vez la característica más fascinante y poderosa de los SE, que los distingue de la mayoría de las aplicaciones



tradicionales de la computación, es su capacidad para enfrentar problemas que constituyen un reto del mundo real, por medio de la aplicación de procesos que reflejan el discernimiento y la intuición humanas.

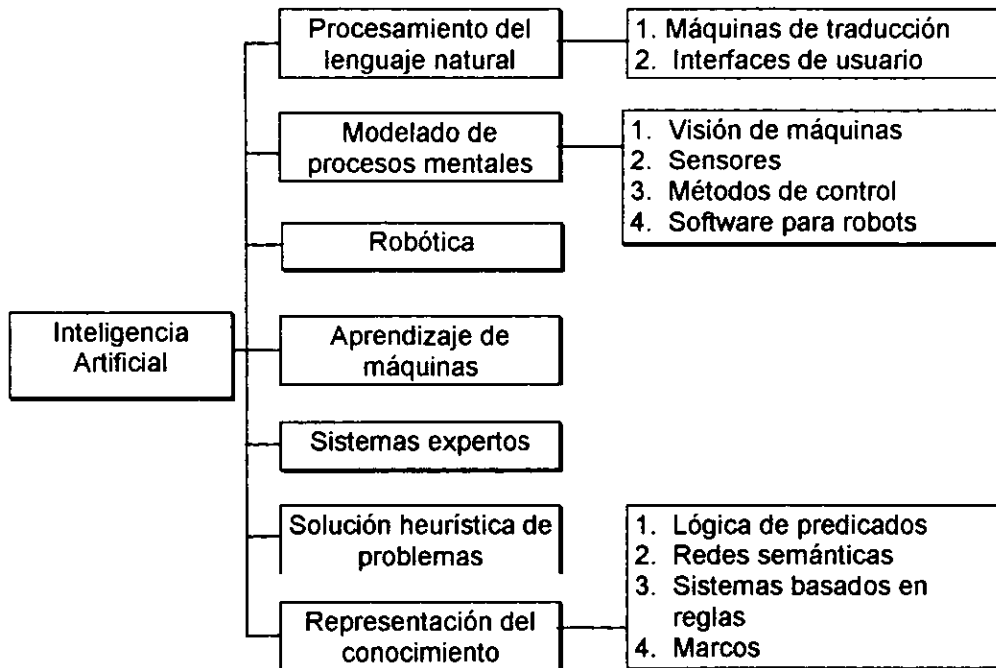


Fig. 2.1 Áreas de la inteligencia artificial

Un SEBC es una aplicación informática que simula el razonamiento humano mediante la aplicación específica de conocimientos heurísticos y de inferencias para resolver problemas complicados que antes solamente podían resolver los especialistas en el área considerada. El conocimiento heurístico es generalmente acumulado por expertos humanos durante varios años de experiencia.

Se pueden establecer otras definiciones prácticas, por ejemplo, un SE es un programa de computadora que aplica conocimiento e inferencias para resolver problemas que requieren de un experto humano, otra menciona que un SE es un programa de computadora interactivo que incorpora juicios (opiniones), experiencia, reglas de evaluación, intuición y otras habilidades para proveer asesoría inteligente sobre una diversidad de tareas, otra más indica que un SE resuelve problemas complejos empleando modelos de razonamiento humano, consiguiendo llegar a idénticas conclusiones que el experto humano haría si enfrentará el mismo problema.



2.4.1 Sistemas expertos y programas convencionales

Los SE se diferencian de los programas de computadora convencionales, las principales diferencias son las siguientes:

- 1) Uso intensivo del conocimiento y empleo del conocimiento heurístico del área específica con el fin de mejorar la eficiencia de la búsqueda de soluciones.
- 2) El conocimiento generalmente se representa por medio de reglas para su fácil lectura y comprensión.
- 3) La base de conocimientos es independiente de los programas que la manipulan. Estos últimos reciben el nombre de mecanismos de inferencia.
- 4) Estos sistemas son altamente interactivos.
- 5) La respuesta que se obtiene puede ser cualitativa en lugar de cuantitativa.
- 6) Imitan la toma de decisiones y procesos de razonamiento de expertos humanos, con lo cual pueden ofrecer asesoría, responder preguntas y explicar sus conclusiones.

Internamente, los sistemas expertos pueden ser de diferentes formas, sin embargo, un SE ideal se puede caracterizar como un sistema que comprende:

- 1) Amplio conocimiento específico a partir del campo de interés.
- 2) Aplicación de técnicas de búsqueda.
- 3) Soporte para análisis heurístico.
- 4) Habilidad para inferir nuevos conocimientos a partir de conocimientos ya existentes.
- 5) Procesamiento de símbolos.
- 6) Capacidad para explicar su propio razonamiento.



De todo lo anteriormente expuesto podemos concluir lo siguiente: el potencial de un experto se debe más al conocimiento amplio del área específica, que al desempeño genérico del mismo.

2.4.2 Estado actual del desarrollo de sistemas expertos

Debido a los múltiples grados de complejidad que un SE alcanza, y a la gran diversidad de aplicaciones que puede llegar a realizar, los usuarios de un SE pueden estar operando en cualquiera de los siguientes modos:

- 1) Verificador: se intenta comprobar la validez del desempeño del sistema.
- 2) Tutor: se da información adicional al sistema o se modifica el conocimiento que ya está presente en el sistema.
- 3) Alumno: se busca rápidamente desarrollar pericia personal relacionada con el área específica mediante la recuperación de conocimientos organizados y condensados en el sistema.
- 4) Cliente: se aplica la pericia del sistema a realizar tareas específicas reales.

Como ya se menciono anteriormente, debido al grado de complejidad que puede presentar un SE, y considerando asimismo las necesidades particulares que se tengan, los SE se pueden clasificar en tres categorías generales que son:

- 1) Asistente: es un pequeño sistema basado en conocimientos que realiza un subconjunto de tareas de una tarea experta, valioso económicamente pero técnicamente limitado.
- 2) Colega: es un sistema de tamaño mediano basado en conocimientos que realiza una parte significativa de una tarea experta (caso de CIMEQ).
- 3) Experto: es un sistema grande basado en conocimientos que se acerca al nivel de desempeño del experto humano dentro de un campo particular.



2.4.3 Ingeniería de conocimientos

La ingeniería de conocimientos es la disciplina que se ocupa de adquirir el conocimiento del campo específico y estructurarlo en una base de conocimientos. Aunque los conocimientos pueden conseguirse de una variedad de fuentes, incluyendo la documentación y los sistemas de información computacional existentes, la mayor parte de él, debe obtenerse de personas expertas. El conocimiento suministrado por el experto por lo general estará en forma tal que sea orientado hacia el tema del área.

Un ingeniero de conocimientos (IC) es la persona que obtiene los conocimientos del área del experto y los transporta a la base de conocimientos. En razón de que un sistema experto requiere que los conocimientos en la base de conocimientos se guarden de acuerdo con las normas de representación de conocimientos del sistema, el IC debe transformar la representación del conocimiento como parte del proceso de adquisición; para adquirir el conocimiento necesario, el IC primero debe establecer una comprensión global del área, formar un diccionario de los términos esenciales del área y desarrollar una comprensión básica de los conceptos clave, luego debe condensar el conocimiento en forma sucinta a partir de la información suministrada por el experto.

La función de adquisición de conocimientos es comúnmente, el aspecto de mayor dificultad en la construcción de un SE, esto se debe principalmente al hecho de que el proceso requiere comunicaciones humanas amplias entre el experto en el área y el IC, y en consecuencia enfrenta los problemas asociados con esa actividad, por tanto, el proceso de adquisición del conocimiento no está bien entendido ni bien definido. Si el proceso mismo de desarrollo de un SE se visualizara como un área para expertos, el conocimiento asociado con el procedimiento de adquisición sería considerado como heurístico.

2.4.4 Representación del conocimiento

El conocimiento representa la piedra angular de la potencia de un SE, las técnicas más empleadas para la representación del conocimiento son: la lógica de predicados, las redes semánticas, marcos, guiones, y las reglas de producción¹. Dado que el presente trabajo no pretende cubrir de una manera detallada todas las formas de representación de conocimiento, solo serán descritos brevemente:

1. Cervantes Martínez Manuel. 1997 "Sistemas Expertos Aplicados en Ingeniería Civil". X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 1997



- 1) La lógica de predicados: Es uno de los sistemas de lógica formal más empleados y es una de las formas más antiguas de representación de conocimientos, consiste de cuatro componentes principales:
 - A) Un alfabeto.
 - B) Un lenguaje formal.
 - C) Un conjunto de enunciados básicos llamados axiomas (expresados en lenguaje formal).
 - D) Un conjunto de reglas de inferencia. Cada axioma describe un fragmento de conocimientos y las reglas de inferencia se aplican a los axiomas para deducir nuevos enunciados verdaderos.

La diferencia entre la lógica de predicados y las reglas de producción estriba en que las reglas de inferencia no son independientes entre si, mientras que las reglas de producción si son independientes entre si, lo que permite llevar a cabo modificaciones y adecuaciones sin afectar mucho a la base de conocimientos.

- 2) Las redes semánticas. Una red semántica hace énfasis en la representación gráfica de las relaciones entre los elementos de un dominio. Los componentes básicos de una red son:
 - A) Los nodos: Se emplean para representar elementos del dominio, se muestran gráficamente como rectángulos y son rotulados con los nombres de los elementos representados.
 - B) Los enlaces: O también llamados arcos representan relaciones entre los elementos. Un enlace muestra como un vector desde un nodo a otro; se rotula con el nombre de las relaciones representadas. Debido a que la aseveración puede ser solamente veraz o falsa, un enlace es una relación binaria.
- 3) Los marcos son unas estructuras para organizar el conocimiento con énfasis en el conocimiento por omisión. Los marcos comparten varios conceptos en común con las redes semánticas. Cada marco representa una clase de elementos de la misma manera que un nodo de clase se emplea para representar tales elementos en una red semántica. Es común



desarrollar redes en que los nodos sean marcos. Un marco consiste de una serie de ranuras de las cuales cada una representa una propiedad estándar o atributo del elemento representado por un marco. Una ranura nos da un lugar para colocar un componente de nuestras experiencias anteriores con relación a las clases de elementos representados.

De la misma manera que nuestras expectativas con relación a objetos, se tienen ciertas expectativas acerca de las secuencias de eventos que probablemente ocurran en cualquier situación dada. Estas expectativas se basan en la observación de patrones recurrentes en los eventos de situaciones similares que se han observado en el pasado.

- 4) El guión es una estructura que se utiliza para guardar prototipos de secuencias de sucesos y puede considerarse como una especialización del concepto general de un marco. Muchos componentes diferentes se pueden emplear para construir un guión, algunos de los más comunes incluyen: condiciones de entrada, resultados del guión, utilerías (ranuras que representan objetos), papeles (agentes que realizan acciones en el guión) y escenas (secuencias específicas de eventos).
- 5) Las reglas de producción, son la forma más comprensible de representación del conocimiento y es el esquema más comúnmente empleado en SE, utiliza reglas que constan de un conjunto de acciones o efectos que son ciertos cuándo se cumplen un conjunto de condiciones o causas. Una regla traduce una relación a una acción condicional. Las reglas de producción están redactadas de tal manera que cada regla ignora la existencia de las demás, y por lo tanto no se activan por su nombre, sino por sus condiciones de aplicabilidad, ello permite añadir o suprimir reglas sin preocuparse de los efectos de estas modificaciones.

Una regla de producción tiene generalmente la siguiente forma:

si < condiciones > ENTONCES < conclusiones o acciones >

La parte izquierda expresa las condiciones de aplicabilidad de la regla, la conclusión se suele referir a la creación de un nuevo hecho válido, mientras que la acción suele referirse a la transformación de un hecho.



Un buen mecanismo de inferencia destacará por sus eficientes estrategias (de solución de problemas) para la elección de una regla a partir de una serie de posibles reglas. Este conocimiento acerca de las reglas de producción se denomina metarreglas¹. Cuando la base de conocimientos está construida en forma modular las metarreglas facilitan el trabajo, pues pueden inhibir parte de los módulos, lo que hace más rápida la búsqueda de soluciones. Entre las ventajas que presentan las reglas de producción están su sencillez y su independencia que permite modificaciones sin que se vea afectado el resto de la base de conocimientos. El principal problema de las reglas de producción reside en el crecimiento muy rápido del número de estas, lo que hace más lento el proceso de inferencia, además de que con facilidad se pueden producir contradicciones, sin embargo si se tiene perfectamente bien visualizado el problema a resolver, estos problemas tienden a desaparecer.

Cabe mencionar que la representación del conocimiento utilizada por CIMEQ, es a base de reglas de producción.

2.4.5 Formas específicas de conocimiento

Existen varios componentes del conocimiento, que dan origen a la habilidad experta en su desempeño. Se pueden ver generalmente como:

- 1) Hechos. Declaraciones que relacionan algunos elementos de la realidad con referencia al área específica. Por ejemplo:
 - A) La leche es blanca.
 - B) El adhesivo para baldosas de cerámica no se fijará al concreto que tenga menos de 2 meses de aplicado.
 - C) Cuando el cortante de una viga en un determinado punto es cero, el momento en ese mismo punto es máximo.
- 2) Reglas de procedimiento. Reglas bien definidas e invariables que describen secuencias fundamentales de eventos y relaciones relativas al área. Por ejemplo:

1. Cervantes Martínez Manuel. 1997 "Sistemas Expertos Aplicados en Ingeniería Civil" . X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 1997



- A) Siempre verifique el movimiento vehicular antes de intentar entrar a una autopista.
 - B) Si el altímetro señala el nivel de vuelo, el medidor de la velocidad vertical debe marcar cero.
 - C) Si la distancia entre dos varillas para el acero de refuerzo de una viga, es mayor a la especificada por el reglamento, disminuya el diámetro de la varilla a usar.
- 3) Reglas heurísticas. Reglas generales en forma de opiniones o reglas empíricas que sugieren procedimientos que se pueden seguir cuándo no existen disponibles reglas de procedimiento invariables. Dichas reglas son aproximadas y han sido generalmente acuñadas por un experto a través de años de experiencia. Por ejemplo:
- A) Si una sierra parece estar bien, pero aún así ni no arranca, afloje la tensión de la cadena.
 - B) Es mejor intentar un aterrizaje de emergencia bajo condiciones controladas, que volar en condiciones desconocidas.
 - C) Si la prueba de revenimiento arroja un resultado más bajo a lo especificado, es muy probable que el concreto no cumplirá con las condiciones de resistencia estipuladas.

El uso de reglas heurísticas contribuye grandemente a la potencia y flexibilidad de los SE y tiende a distinguirlos aún más del software tradicional¹. Además de estas formas de conocimiento, un experto posee un modelo conceptual general del área específica y un esquema global para hallar una solución. Estas visiones globales conforman la infraestructura básica para la aplicación por parte del experto de conocimientos detallados.

2.4.6 Interfaz con el usuario

La interfaz con el usuario debe aceptar información del usuario y traducirla a una forma aceptable para el resto del sistema o aceptar información proveniente del sistema y convertirla a una que el usuario pueda entender.

1. Cervantes Martínez Manuel. 1997 "Sistemas Expertos Aplicados en Ingeniería Civil". X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 1997



Idealmente, esta capacidad se compone de un sistema procesador del lenguaje natural, que acepta y devuelve esencialmente información en la misma forma como es aceptada u ofrecida por el usuario. Aunque en la actualidad no existen sistemas que reproduzcan las capacidades del lenguaje humano en su totalidad, si existen muchos otros que han producido resultados mediante la utilización de subconjuntos restringidos del lenguaje.

La interfaz del usuario a menudo se diseña para reconocer el modo en que el usuario esta operando, su nivel de pericia, y la naturaleza de la relación usuario-SE. Aunque el diálogo en lenguaje natural no es aún realizable, la comunicación con un SE debe ser tan natural como sea posible, toda vez que el sistema trata de sustituir el desempeño humano.

2.4.7 Arquitectura básica de un sistema experto

La arquitectura básica de un SE consiste principalmente de una base de conocimientos, un motor de inferencia, un contexto, un módulo de explicación, un módulo para la adquisición de conocimientos, un módulo de ayuda y de interfaz para interactuar con el usuario (Ver fig. 2.2). El almacenamiento de conocimientos lo forman la base de conocimientos y el motor de inferencia, los cuales son el corazón de un SE, su función es almacenar confiablemente los conocimientos del experto para recuperarlos e inferir nuevos conocimientos cuando se requiera¹respectivamente.

La base de conocimientos. Representa un depósito de las primitivas del conocimiento, por ejemplo, hechos fundamentales, reglas de procedimiento y reglas heurísticas, disponibles para el sistema. Los hechos son declaraciones que relacionan algunos elementos de la realidad con referencia al área específica. Las reglas de procedimiento son reglas bien definidas e invariables que describen secuencias fundamentales de eventos y relaciones relativas al área y las reglas heurísticas son reglas generales en forma de opiniones o reglas empíricas que sugieren procedimientos que se pueden seguir cuando no existen disponibles reglas de procedimiento invariables. Dichas reglas son aproximadas y han sido generalmente acuñadas por un experto a través de años de experiencia.

1. Roiston D. 1987."Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos". McGraw-Hill.



El motor de inferencia. Es el que ubica los conocimientos e infiere nuevos usando la base de conocimientos. El paradigma del mecanismo de inferencia es la estrategia de búsqueda que se emplea para producir el conocimiento demandado. Varios paradigmas diferentes se emplean en un SE, basándose la mayoría de ellos dos conceptos fundamentales:

- 1) Encadenamiento hacia atrás, que es un proceso de razonamiento descendente, que inicia a partir de los objetivos deseados y trabaja hacia atrás en dirección a las condiciones preestablecidas.
- 2) El encadenamiento hacia adelante que es el procesamiento de razonamiento ascendente que se inicia con condiciones conocidas y trabaja hacia adelante para alcanzar los objetivos deseados.

El contexto. Es la base de datos global y en ella se representa el estado actual de los problemas específicos que se están resolviendo, ya que su contenido cambia dinámicamente e incluye información proporcionada por el usuario sobre el problema y los resultados obtenidos por el sistema.

El módulo de explicación. Justifica o indica el razonamiento que conduce a las conclusiones o recomendaciones tomadas por el SE. Además de lograr simplemente una conclusión cuando enfrenta un problema complicado, un experto es también capaz de explicar, hasta cierto punto, el razonamiento que conduce a dicha conclusión. Un SE debe diseñarse para brindar una facultad semejante. Esta es una potencialidad que generalmente está ausente en los sistemas tradicionales de computación.

Típicamente la explicación consiste en una identificación de los pasos en el proceso de razonamiento y de una justificación de cada uno de ellos. El proporcionar esta potencialidad para comunicar esta información, constituye esencialmente un subconjunto del problema del procesamiento del lenguaje natural. El sistema debe acceder a un registro de los conocimientos que se emplearon en el procesamiento, basándose en el esquema de representación de la base de conocimientos y traducirlo a una forma que sea aceptable para el usuario. Una persona experta también puede ser capaz de explicar sus razonamientos en forma adecuada al nivel de experiencia del que escucha. Para proporcionar los niveles críticos de explicación, el sistema debe identificar el nivel de conocimientos del usuario y entender cómo adaptar la explicación para acoplarla apropiadamente. Las habilidades de explicación en varios sistemas actuales se limitan a listar simplemente las reglas que se utilizaron durante la ejecución.

El módulo de adquisición de conocimiento. Sirve para actualizar o modificar la base de conocimientos debido a que desafortunadamente en muchas áreas complejas el conocimiento crece y cambia constantemente, por lo cual la base de conocimientos se debe modificar en el mismo sentido.



Para llevar a cabo tales actualizaciones se emplea la capacidad para la actualización de conocimientos. Este proceso puede tomar una de tres formas fundamentales, según se describe a continuación:

- 1) La primera forma es la actualización manual de conocimientos. En este caso la actualización se lleva a cabo por un IC quién interpreta la información ofrecida por un experto en el área y actualiza la base de conocimientos mediante el uso de un sistema limitado de actualización.
- 2) En la segunda forma, el experto en el área ingresa directamente el conocimiento revisado sin la mediación de un ingeniero de conocimientos. En este caso el sistema de actualización de conocimientos debe ser mucho más elaborado.
- 3) En la tercera forma, aprendizaje mecánico, el sistema genera nuevos conocimientos en forma automática y se basa en generalizaciones deducidas de experiencias anteriores. El sistema en efecto, aprende nominalmente de la experiencia e idealmente el mismo sistema se actualiza, este proceso, que aún se encuentra en estado conceptual, es tema de mucha investigación. La habilidad para aprender es un componente importante de la inteligencia y al ofrecer completamente esta potencialidad mejoraría las capacidades de un SE. Idealmente, todas las mejoras al sistema de conocimientos se implementan mediante la expansión de la base de conocimientos, sin embargo, es raro que sea posible el asegurar una completa independencia de la base de conocimientos y del motor de inferencia.

El módulo de ayuda y la interfaz. Permiten al usuario usar el SE con eficacia y facilidad. Además de que ofrecen el medio para interactuar con el SE, puede incluir procesadores de lenguaje natural, menús, ventanas múltiples, iconos y gráficas.

2.4.8 Procedimiento general para el desarrollo de un sistema experto

El método tradicional considera que un especialista en inteligencia artificial y un ingeniero del conocimiento cooperan con un grupo de expertos en el área específica para desarrollar el sistema experto. El ingeniero del conocimiento debe familiarizarse con la aplicación por realizar, y entonces adquirir, compilar, organizar y formalizar el conocimiento del experto humano principalmente por medio de entrevistas.

Sin embargo, no es tan fácil que el IC adquiera precisamente el conocimiento especializado del experto, es más adecuado que el propio experto del área de interés aprenda sobre las metodología que ofrecen los sistemas expertos para que ellos mismos junto con otros colegas elaboren la base de



conocimientos del SE, dejando al especialista en IA las cuestiones relacionadas con la implementación en términos de los programas y equipo de cómputo necesarios. Los pasos principales para el desarrollo de un SE son:

- 1) Selección de un lenguaje de programación, ambiente integrado de desarrollo o esqueleto de programación (Shell).
- 2) Selección de las técnicas para la representación del conocimiento y para el mecanismo de inferencia.
- 3) Análisis, adquisición y conceptualización del conocimiento para crear la base de conocimientos (BC).
- 4) Formalización y creación de la BC.
- 5) Desarrollo del prototipo.
- 6) Evaluación y revisión del SE.
- 7) Afinamiento de la interfaz del usuario.
- 8) Mantenimiento y actualización del sistema.

2.4.9 Lenguajes de programación para sistemas expertos

El Software Puede ser clasificado dentro de seis niveles¹, los cuáles son mostrados en la tabla 2.1., en el nivel inicial de la tabla se encuentra el lenguaje máquina consistente de dígitos binarios 0 y 1; en el nivel siguiente están los sistemas operativos los cuáles son software que manejan las operaciones fundamentales de una computadora y sus recursos. Los programas de aplicación son escritos en lenguajes de alto nivel como Fortran, C, Turbo C, Pascal, y LISP.

Un ambiente de programación consiste de un número de subrutinas o módulos usualmente desarrollados en un lenguaje de alto nivel, adecuado para un dominio en particular o para alguna clase específica de problemas.

¹ Adeli H.,1990. "Expert Systems In Construction and Structural Engineering". Chapman and Hall.



Usando esos módulos un programador puede desarrollar programas específicos para ese dominio, además, para obtener más ventajas en la programación recientemente han sido desarrolladas herramientas extras de programación, entre las cuales las más populares son las hojas de cálculo y los sistemas de manejo de datos.

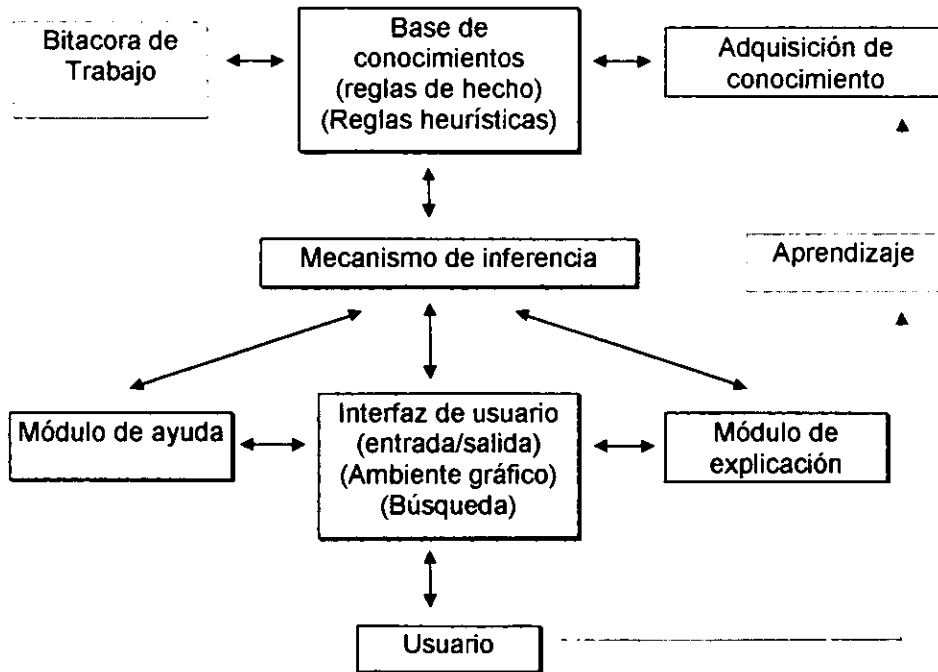


Fig. 2.2 Arquitectura de un sistema experto

Tabla. 2.1 Niveles de Software

1	Lenguaje Máquina
2	Sistemas Operativos (ej. MS-DOS)
3	Lenguajes de Alto Nivel (ej. Fortran, C, Lisp, Prolog)
4	Ambientes de Programación (ej. Interlisp)
5	Herramientas De programación (ej. Shells, Excel)
6	Programas de Aplicación

Existe una diferencia fundamental entre los lenguajes para inteligencia artificial como LISP y PROLOG y los convencionales lenguajes de procedimiento como Fortran, o C. En un lenguaje de procedimiento, las instrucciones son dadas en formas imperativas; primero haz esto, entonces haz eso, después haz aquello, etc., la estrategia paso por paso para resolver un problema es explícitamente dada por el programador; los lenguajes para inteligencia artificial son lenguajes declarativos en los cuales la



información es presentada en una forma descriptiva, lo cuál parece más cercano al proceso de pensamiento humano.

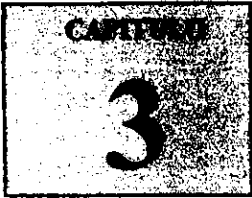
Por lo general, al desarrollar sistemas expertos la programación se centra en los temas de inferencia y búsqueda heurística y depende esencialmente de la manipulación de símbolos (series de caracteres como "nombres") que se emplean libremente para representar cualquier elemento del área.

Los lenguajes de programación LISP y PROLOG son por excelencia los lenguajes comunes más empleados en la construcción de un SE, ambos han sido desarrollados para la manipulación simbólica, aunque muchos lenguajes convencionales, específicamente C se están volviendo habituales. LISP conceptualmente es un lenguaje funcional, cada instrucción en el lenguaje es una descripción de una función. Para el desarrollo de CIMEQ utilizamos el lenguaje PROLOG, el cuál es un lenguaje que se basa en la lógica, en donde cada instrucción es una expresión en una sintaxis de lógica formal. PROLOG es popular en Europa (especialmente en el Reino Unido, Francia, Hungría) y Japón, y actualmente esta ganando popularidad en Estados Unidos, sin embargo PROLOG tiene sus limitaciones en cuanto a cálculo numérico, requerimientos de memoria muy extensos y ejecución lenta con muchas implementaciones del lenguaje.

El procesamiento simbólico es importante en un SE, debido a que las primitivas del conocimiento en una base de conocimientos y las relaciones entre las primitivas de conocimientos, se almacenan mediante el uso de representaciones simbólicas. Es útil que los lenguajes de programación para un SE puedan tratar libremente con "objetos" como lo realiza PROLOG, sin estar comprometido con la composición de dichos objetos.

Los méritos relativos de PROLOG comparados con otros lenguajes candidatos o propuestos, son origen de continuos debates. Aunque el fundamento de estas argumentaciones es algunas veces de corte tradicional y geográfico más que técnico, es verdad que cada lenguaje es más apropiado para ciertas aplicaciones que otras.

En la medida que aumente la proporción del desarrollo de los SE, y según se construyan nuevas arquitecturas, es probable que se vuelvan populares nuevos lenguajes simbólicos. Se esta orientando una considerable actividad de investigación hacia el desarrollo de lenguajes que combinan las características funcionales (LISP) y lógicas (PROLOG). A medida que tales lenguajes se vuelvan de uso corriente, es razonable esperar la evolución de herramientas de desarrollo más sofisticadas.



PROCESO DE DESARROLLO DE LA INGENIERÍA TÍPICA

La optimización en la capacidad y el desarrollo industrial de Petróleos Mexicanos requiere de procesos complejos para llevar a cabo trabajos como la extracción, almacenamiento, refinación y distribución de los hidrocarburos; el equipo necesario para llevar a cabo estas actividades es muy delicado y costoso, requiere de instalaciones y adecuaciones especiales para su buen funcionamiento, de ahí la importancia de un desempeño adecuado de todas y cada una de las disciplinas de la ingeniería que intervienen en la realización de estos procesos, parte fundamental es la participación de la ingeniería civil.



3.1. ANTECEDENTES

Antes de iniciar con la ingeniería civil consideramos necesario tener al menos un panorama general de todo el proceso y sus requerimientos, y ubicar así la ingeniería de detalle para una cimentación dentro del contexto de un proyecto industrial, este proceso es complejo y esta conformado por numerosas disciplinas de diferente naturaleza y propósito.

Una vez realizados los estudios previos de factibilidad técnica y económica donde se justifica lo redituable que es un proyecto industrial, se inicia la participación de las diferentes disciplinas, entre las que se encuentran la ingenierías civil, química, industrial, eléctrica, mecánica, y de seguridad. Inicialmente se realizan las actividades preliminares como es el levantamiento topográfico del área del proyecto, éste se realiza con el propósito de conocer las características altimétricas y planimétricas del sitio donde se ubicará el proyecto, y de acuerdo a la ingeniería realizada por las disciplinas antes mencionadas, aquí toma parte la ingeniería básica en la distribución de los equipos necesarios para el proceso. Una vez conocidos los requerimientos de equipo, en cuanto a dimensiones, dirección de flujo, presiones, trayectorias y otros, comienza la etapa de ingeniería de detalle, en ella se incluye la ingeniería eléctrica, mecánica, y civil.

Podemos decir que la información inicial para llevar a cabo la ingeniería civil es de diversa naturaleza, entre esta información se encuentra la siguiente:

3.1.1. Información electromecánica

Para el diseñador de cimentaciones de equipo, le es necesario contar con planos isométricos de tuberías donde se muestren las elevaciones y trayectorias de la tubería de proceso que concurren a las boquillas de succión y descarga del equipo en cuestión. Las elevaciones mostradas en los planos de tuberías y la información del equipo, servirán al diseñador de la obra civil a determinar junto con la información del equipo, el nivel o los niveles superiores de la cimentación del propio equipo. Sin duda alguna, la información que tiene mayor importancia para el diseño de la obra civil, es la parte correspondiente al propio equipo, los dibujos o planos emitidos por parte de la ingeniería mecánica, contienen información que el ingeniero civil utiliza para aplicar los procedimientos de análisis descritos anteriormente tales como el peso del equipo, el peso de la base del equipo, la frecuencia o frecuencias de operación, la geometría del equipo, los límites de vibración permisibles, la localización de las boquillas de succión y descarga, las dimensiones en planta y elevaciones del equipo, la altura de la flecha, el tipo de apoyo de la cimentación, la localización y dimensiones de los orificios para los pernos de anclaje, etc..



3.1.2. Información geotécnica

En el diseño de toda cimentación es necesario conocer la naturaleza del suelo en el cual se desplanta la obra, es decir, se deberán conocer las diferentes características del suelo en cuestión; tales como la capacidad de carga del suelo, su peso volumétrico etc., para llevar a cabo un análisis dinámico completo es necesario conocer además diversos parámetros como son el módulo de elasticidad dinámico, la relación de Poisson, el módulo de rigidez al corte, etc..

3.1.3. Información estructural

La información estructural requerida es centrada en los materiales a utilizar como son: el concreto, el concreto utilizado comunmente es de una resistencia nominal de $f'c = 250\text{kg/cm}^2$ clase 1 y en ocasiones mayor, dependiendo del ingeniero diseñador o de lo utilizado en el proyecto de la obra civil; el acero de refuerzo, el acero de refuerzo generalmente utilizado es de un punto de fluencia de $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$ cuya función principal es proporcionar confinamiento al concreto evitando su desmoronamiento que pudiese provocar la vibración debida a la operación del equipo, y su agrietamiento debido a los cambios volumétricos por temperatura; aditivos, en la construcción de cimentaciones es común utilizar aditivos, ya sean, fluidificantes, impermeabilizantes, etc., para mejorar la colocación del concreto o para evitar el paso de agentes que dañen el acero de refuerzo; también se acostumbra utilizar los aditivos estabilizadores de volumen (grout) en los espacios entre la cimentación y la base de los equipos, estos aditivos proporcionan por una parte, una superficie uniforme para el apoyo de los equipos, y otra, forman una liga entre el bloque de la cimentación y las bases de los equipos, comunmente formadas por placas o perfiles estructurales.

A lo largo del presente capítulo se desarrolla en detalle el lugar y los alcances de la ingeniería civil en lo concerniente al desarrollo de una cimentación para equipo rotatorio dentro de los proyectos industriales, desde las acciones que actúan sobre la cimentación hasta la generación de las cantidades de obra.

3.2. ACCIONES

Acción es todo agente (externo o inherente a la estructura y/o a su funcionamiento), cuyos efectos en una estructura puedan hacer que esta alcance un estado límite. Para fines de diseño, las acciones se representan usualmente por medio de sistemas de cargas y/o deformaciones cuyos efectos sobre la estructura se suponen equivalentes a los de las acciones reales.



En el diseño de una estructura deberá considerarse el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente¹.

3.2.1. Acciones permanentes

Son aquellas que obran en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo. Un ejemplo de acción permanente es la **carga muerta**, dentro de la que se considera el peso propio de la cimentación, así como del equipo que ocupe una posición fija y permanente en la cimentación

3.2.2. Acciones variables

Son las que actúan sobre una estructura con una intensidad variable en el tiempo, y comprenden:

- 1) Carga viva. Que representa las fuerzas gravitacionales que obran en la cimentación y que no tienen carácter permanente.
- 2) Efectos causados en la estructuras por cambios de temperatura y contracción
- 3) Efectos de operación de la propia maquinaria y equipo, incluyendo, cuándo sean significativas, las acciones dinámicas que el funcionamiento de la máquina induzca en la cimentación debido a vibraciones, impacto, frenaje y aceleración.

3.2.3. Acciones accidentales

Son aquellas que no se deben al funcionamiento propio de la cimentación, y pueden alcanzar valores significativos solo durante lapsos breves, como lo puede ser el sismo o el viento; para nuestro caso solo consideraremos las acciones accidentales debidas a sismo, revisando los esfuerzos en el terreno bajo la cimentación, es decir, se verifica durante el proceso de diseño, que el terreno no sufra daño alguno ante una sollicitación sísmica.

1. C.F.E. Manual de diseño de obras civiles, C.1.2. "Acciones"



3.3. CLASIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA

En general podemos clasificar al equipo de acuerdo a las vibraciones, en dos grupos: maquinaria y equipo cuyas vibraciones pueden afectar las instalaciones a su alrededor y la maquinaria y equipo de alta sensibilidad.

3.3.1. Maquinaria y equipo cuyas vibraciones afectan al medio

- 1) Maquinaria con vibraciones transitorias producidas por fenómenos de tipo impulsivo. Existen cargas que podemos considerarlas como pulsos singulares, ya que su efecto termina antes de que ocurra la siguiente carga, provocando una vibración de tipo transitoria. De este tipo de equipo, podemos enunciar las prensas con martillo de caída libre, prensas de forja (de vapor o de aire), maquinas de estampado, etc.
- 2) Maquinaria con vibraciones periódicas o estacionarias, debidas a fenómenos de carácter repetitivo, oscilatorio y/o frecuencia variable. Estas a su vez se dividen en:
 - A) Reciprocantes.
 - B) Rotatorias.
 - C) De impacto.

3.3.1.1. Máquinas reciprocantes.

En este tipo de máquinas, las fuerzas que se transmiten en la cimentación son armónicas. Las fuerzas actúan a la frecuencia de operación de la máquina, y su intervalo común de variación es de 3 a 30 ciclos/seg. El movimiento de estas máquinas es producido por la expansión violenta de un gas, y la combinación de émbolos, bielas y manivelas. El movimiento alterante del émbolo, usualmente armónico simple, se transforma por la acción de la biela en un movimiento circular de la manivela; generalmente son máquinas de baja velocidad, las cuales pueden ser: equipo de combustión interna, compresoras y bombas de pistón, quebradoras de quijada, máquinas de vapor, máquinas de diesel, sierras de mármol y otras.



3.3.1.2. Máquinas rotatorias.

En este tipo de máquinas no hay fuerzas dinámicas desbalanceadas. Sin embargo durante la vida de la máquina se pueden presentar fuerzas desbalanceadas debidas a desgaste, asentamientos, cambios de velocidad de operación, etc., y su valor es difícil de estimar. La frecuencia de operación de estas máquinas es de 30 a 200 ciclos/seg. En este tipo de máquinas, el desplazamiento de casi todas las partes móviles describen una trayectoria circular. El movimiento es debido en unos casos al desplazamiento de un fluido entre los alabes de una o más ruedas, y en otros a la existencia de un conductor en un campo magnético variable, generalmente son máquinas de alta velocidad. Algunos ejemplos podrían ser: motores y generadores, turbogeneradores, sopladores, ventiladores, compresores, bombas centrifugas, quebradoras giratorias, trenes de laminación, molinos de martillos, cepillos, etc.

3.3.1.3. Máquinas de impacto.

En este caso las fuerzas dinámicas no son constantes, sino pulsos que alcanzan su máximo y mínimo valor en pocos milisegundos. La frecuencia es de varios pulsos por minuto, y generalmente los efectos de cada pulso han desaparecido cuándo se presenta el siguiente pulso.

3.3.2. Maquinaria y equipo de alta sensibilidad.

Se consideran equipo y maquinaria que posee componentes extremadamente delicados, o bien desarrollan un trabajo de precisión y medición. Así pues, este tipo de equipo podría afectarse con las vibraciones externas, por lo que su diseño requiere de un sistema de aislamiento y en ocasiones con nulos asentamientos. En este tipo de máquinas las tolerancias en amplitud y frecuencia de las vibraciones que pueden soportar son más estrictas, Se consideran equipos de este tipo máquinas de medición, simuladores grandes, impresoras de tinta, microscopios electrónicos, fresadoras, tomos, torres de radar, etc..



3.4. CLASIFICACIÓN DE LAS CIMENTACIONES PARA MAQUINARIA

Debido a que las fuerzas transmitidas por las máquinas son generalmente grandes, es común que las cimentaciones de maquinaria pesada sean masivas, rígidas y soportadas directamente por el suelo. Atendiendo a su rigidez, las estructuras de cimentación para maquinaria se pueden clasificar en tres tipos¹ :

3.4.1. Cimentaciones de bloque

Esta cimentación consiste en un pedestal o en un bloque macizo de concreto reforzado o con huecos, con una masa relativamente grande. Para fines de análisis, el sistema equipo-cimentación-suelo suele representarse mediante un modelo masa-resorte, donde la masa del sistema vibratorio se compone del bloque de cimentación y la maquinaria, físicamente el resorte del modelo dinámico corresponde a uno de los siguientes casos:

- 1) El suelo mismo
- 2) Un conjunto de amortiguadores o aisladores
- 3) Una combinación de amortiguadores para el efecto del resorte-péndulo.

3.4.2. Cimentación tipo caja

Se deriva del caso anterior y consiste en un bloque hueco, soportando a la maquinaria en su parte superior, el modelo dinámico de análisis empleado es similar al anterior.

3.4.3. Cimentaciones formadas por marcos

Están compuestas por columnas y traveses de concreto reforzado o acero y por losas de concreto reforzado, empleadas como asiento de la maquinaria. El espacio entre columnas permite alojar los condensadores, las tuberías y ductos especiales.

1. C.F.E. Manual de diseño de obras civiles, C.2.2. "Diseño estructural de cimentaciones"



Para fines de análisis se suele considerar el sistema estructural completo, es decir, el modelo matemático que representa a la estructura se somete a un sistema de cargas dinámico y se evalúa la respuesta del mismo en su conjunto. Dentro del modelo estructural se consideran la masa propia y la de la maquinaria y es necesario tomar en cuenta la flexibilidad de la cimentación.

3.4.4 Cimentación tipo muros

Este conjunto de concreto reforzado, se conforma de dos muros paralelos al eje longitudinal de la maquinaria, soportando una losa sobre la cual descansa la maquinaria, el análisis utilizado es igual que el del punto anterior.

3.4.5 Cimentaciones piloteadas

Trabajando en conjunto con un bloque de cimentación, los pilotes son hincados verticalmente para soportar el sistema: algunos podrían ser hincados en forma inclinada, si hay importantes fuerzas dinámicas horizontales

En la mayoría de los casos, debido a razones de funcionamiento y operación, la forma estructural de la cimentación se encuentra determinada de antemano; por ejemplo, en general puede aceptarse que las máquinas que producen impacto, las máquinas alternantes y las máquinas giratorias de velocidad baja y media se asocian a cimentaciones de bloque, mientras que las máquinas rotatorias de alta velocidad se asocian con cimentaciones formadas por marcos. Hay veces en que algunas dimensiones de la cimentación se encuentran prefijadas de alguna manera, como lo puede ser el peralte del bloque, debido principalmente a longitud necesaria de los pernos de anclaje.

3.5. PROCESO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

En el diseño de cimentaciones para maquinaria, considerar la interacción suelo-estructura es complejo y en el se requiere la interrelación de diversas especialidades unas de las cuales son: ingeniería estructural, y geotécnica. En este proceso, el ingeniero diseñador, es el responsable de obtener las características de la maquinaria, generalmente a través del fabricante del equipo. Y con la información del suelo, elaborará los modelos dinámicos del sistema. Posteriormente lleva a cabo el análisis, la interpretación de los resultados y el diseño de la cimentación conforme a los criterios y las normas establecidas.



3.5.1. Aspectos fundamentales

El diseño es quizás una de las tareas más difíciles que realizan los ingenieros, es una tarea que requiere gran cantidad de conocimiento del campo específico y considerable habilidad en la solución de problemas. Sin embargo no existe una definición universalmente aceptada de lo que es el diseño. Entre otras se entiende por diseño la actividad que va dirigida a lograr un objetivo o un producto terminado satisfaciendo un conjunto de restricciones, resultado de esta actividad es un plan para lograr el objetivo. Otra lo define como la actividad que produce una descripción de un objeto, en términos de su forma, dimensiones, materiales y funcionamiento.

En ingeniería el resultado del diseño es un conjunto de especificaciones para construir un objeto a diferencia del diseño en otros campos cuyo producto es un objeto terminado. Esto implica que el principal aspecto del diseño en ingeniería es la forma como se describen estas especificaciones, la cual debe ser clara, concisa y sin ambigüedades.

De lo anterior se puede dar la siguiente definición del diseño en ingeniería considerándolo como un proceso: **"El diseño en ingeniería es la elaboración y evaluación sistemática de especificaciones para construir un objeto, cuya forma, dimensiones, materiales y funcionamiento cumplen con los objetivos establecidos y satisfacen las restricciones especificadas"**

En el diseño de sistemas complejos se presentan varias dificultades, las principales son las siguientes:

- 1) Las consecuencias del diseño no son aparentes durante el proceso de diseño, así que muchas alternativas tienen que ser consideradas y evaluadas preliminarmente.
- 2) Se tiene que satisfacer un gran número de condiciones impuestas por diversas fuentes.
- 3) El diseño por su complejidad se divide en un conjunto de subtareas y la interacción entre estas debe ser cuidadosamente manejada.
- 4) La toma de decisiones es difícil porque generalmente las subtareas la efectúan diferentes individuos y el diseñador debe tener una idea global de todo el proceso de diseño, con el fin de que pueda dar una solución óptima a nivel local.



3.5.2. Clasificación del diseño

El diseño se puede clasificar considerando la dificultad que se presenta en la toma de decisiones, en la integridad del conocimiento generado y en los inconvenientes para controlar los procesos de búsqueda, de acuerdo a las siguientes clases:

- 1) **Creativo:** En el diseño creativo no existe una solución a priori del problema y se caracteriza porque los objetivos no son precisos, ni puede hacerse una descomposición efectiva del problema. Este tipo de diseño requiere de una notable capacidad para resolver problemas. En la actualidad no es susceptible de incorporarse a un SEBC debido principalmente a que no se comprenden todavía los procesos del pensamiento creativo en el hombre.
- 2) **Innovador:** En el diseño innovador la descripción del problema es conocida, pero las alternativas de cada parte no existen y deben ser sintetizadas, estas alternativas pueden ser una combinación de componentes existentes.
- 3) **Rediseño:** El rediseño consiste en tomar un diseño existente para modificarlo y así incorporar los cambios necesarios, dependiendo de si estos cambios llegan a ser funcionales o no; este tipo de proceso normalmente es complicado.
- 4) **Rutinario:** En el diseño rutinario existe un plan a priori, las subpartes y alternativas son conocidas, quizás como el resultado de un diseño creativo o innovador. La solución consiste en encontrar para cada subparte las alternativas apropiadas para satisfacer las condiciones dadas.

El diseño creativo es confuso, espontáneo, caótico e imaginativo, por el contrario, el diseño rutinario es preciso, predeterminado, sistemático y de naturaleza matemática.

Cabe mencionar que en el diseño de cimentaciones para maquinaria existe de manera generalizada una gran cantidad de información y conocimiento por considerar y de muy diversa naturaleza, dicho conocimiento va desde los principios básicos, como las leyes de la física, hasta toda una serie de conocimientos e información de tipo experimental diferente de acuerdo con cada ingeniero diseñador, y con cada criterio en particular. Parte importante de todo este conocimiento es el hecho de que en un caso ideal se debe saber perfectamente el entorno en el que se trabajará y los objetivos que se quieren concretar, sin embargo, para nuestro caso, la mayor parte de las



veces no es posible, esto se refiere a que no se tienen perfectamente bien identificadas todas las características de la maquinaria, las acciones a que estará sujeta la cimentación, el arreglo y niveles de las tuberías, los niveles permisibles y el peralte necesario para su buen funcionamiento, e inclusive se carece del tipo de maquinaria que se puede presentar. De todo lo anterior podemos decir que el diseño de una cimentación para maquinaria conjunta varios de los tipos de diseño mencionados anteriormente de acuerdo con la etapa que se este desarrollando y la magnitud de la información y las características y restricciones de cada cimentación en particular.

3.5.3. Criterios de diseño

El criterio de diseño puede definirse como el conjunto de procedimientos con el cual se lleva a cabo la secuencia descrita en el inciso anterior. Los requisitos de seguridad y servicio para una cimentación para maquinaria se establecen mediante la definición de estados límite (de operación, de durabilidad, de falla, etc.), los cuáles estipulan los comportamientos inaceptables de la misma, es decir, estado límite es la etapa del comportamiento de una cimentación a partir del cual esta, o alguna de sus partes deja de cumplir con la función para la que fue proyectada¹.

Los estados límite pueden dividirse en estados límite de falla (relacionados con la seguridad de la cimentación) y en estados límite de servicio (relacionados con el funcionamiento adecuado de la misma). Toda cimentación para maquinaria deberá ser diseñada de tal forma que satisfaga los criterios generales antes mencionados.

3.5.3.1. Estado límite de falla

Los estados límite de falla corresponden al agotamiento definitivo de la capacidad de carga de la cimentación; o de cualquiera de sus miembros, o bien a la etapa en que, debido a los efectos de acciones pasadas, dicha capacidad sin estar agotada, no es suficiente para soportar los efectos de acciones futuras:

- A) Estado límite por falla del suelo : El terreno sobre el cuál se apoya la cimentación no deberá presentar ningún estado de falla cuando esté sujeto a las solicitaciones estáticas y dinámicas producidas por la cimentación que soporta.

1. C.F.E. Manual de diseño de obras civiles, C.1.1. "Métodos de diseño"



- B) Estado límite por falla de la estructura de cimentación : La estructura de cimentación no deberá presentar ningún estado de falla cuándo se le someta a las sollicitaciones estáticas y dinámicas producidas por la maquinaria que soporta.

3.5.3.2. Requisitos de servicio

Los estados límite de servicio corresponden a etapas de deformaciones, agrietamientos, vibraciones o daños que afectan el correcto funcionamiento de la estructura, pero no la capacidad para soportar cargas:

- A) Deformaciones: Se considera como estado límite cualquier deformación de la estructura que ocasione daños inaceptables a la misma o a sus vecinas.
- B) Estado límite por vibración de la máquina : La maquinaria no deberá experimentar en ningún momento, bajo condiciones de servicio, movimientos mayores a los especificados por el fabricante del equipo.
- C) Estado límite por resonancia : Ninguna de las frecuencias de operación de la maquinaria deberá coincidir con alguna de las frecuencias naturales del sistema máquina-cimentación-suelo.
- D) Estado límite por transmisión de vibraciones : Las vibraciones que la máquina transmita al suelo a través de su cimentación bajo condiciones de servicio, no deberán ser molestas a personas que requieran permanecer cerca del equipo, ni deberán afectar el funcionamiento de otras máquinas o estructuras vecinas, o en el caso de cimentaciones de equipo delicado, la transmisión de vibraciones hacia la cimentación debe ser tal que permitan una adecuada operación del equipo.
- E) Otros daños: Se considera como estado límite la ocurrencia de grietas, desprendimientos, astillamientos, aplastamientos, y otros daños locales que afecten el funcionamiento o sensiblemente la apariencia de la estructura. Para cumplir con los requisitos anteriores, en la cimentación deberán considerarse lo siguientes puntos:
- Los asentamientos deben estar dentro de los límites permisibles.
 - La cimentación deberá tener en lo posible una estructura simétrica.



- En todos los casos la excentricidad en el plano horizontal entre el centro combinado de gravedad máquina-cimentación, y el centroide de la superficie de contacto de la cimentación con el suelo deberá ser mínima (usualmente no mayor del 5% de la longitud mínima).
- Las cimentaciones se diseñarán de manera que las relaciones entre la frecuencia de operación del equipo y las frecuencias naturales del sistema equipo-cimentación queden fuera del campo 0.75 a 1.25, es decir, del posible estado de resonancia.
- En máquinas de baja velocidad, las frecuencias naturales de vibración del conjunto deberán ser muy altas, mientras que en equipos de altas velocidades, viceversa.
- Los desplazamientos o movimientos bajo condiciones de servicio deberán estar dentro de los límites permisibles, , los cuales generalmente son prescritos por el fabricante, o se comparan con la ayuda de gráficas.
- Todas las partes rotatorias o reciprocantes de una máquina deberán estar bien balanceadas, con el fin de minimizar las fuerzas y momentos desbalanceados.
- En la medida que sea posible, la cimentación deberá planearse de tal manera que permita alteraciones posteriores de la frecuencia natural mediante cambios del área de la base o de la base de la cimentación, si llegará a necesitarse.

3.5.4. Normatividad

En México existen reglamentos de construcción casi en la mayoría de los estados, para el caso del Distrito Federal el reglamento que es tomado como referencia para el diseño urbano de construcciones, es el reglamento de construcciones para el Distrito Federal y sus normas técnicas complementarias correspondientes. Para el análisis y diseño de cimentaciones para maquinaria, estos reglamentos estatales y el del distrito federal no cubren lo referente a instalaciones de tipo



industrial que se encuentran en áreas urbanas, pues entre algunos aspectos, no fijan límites de desplazamiento y deformaciones ante casos dinámicos, ni señala criterios especiales para los materiales sujetos a vibraciones, como el concreto y el acero. Sin embargo, existe el manual de diseño de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad, el cual contiene una sección correspondiente a cimentaciones para maquinaria. Este manual presenta un panorama más amplio al respecto, sin embargo cabe destacar que el manual de CFE considera los mismos requisitos de seguridad y servicio, así como los mismos factores de carga, tanto gravitacionales como accidentales para las estructuras pertenecientes al grupo A también contenidas en la reglamentación del D.F., la única diferencia entre ambos reglamentos reside en los valores del coeficiente sísmico C.

3.5.5. Capacidad de soporte del suelo

La capacidad de carga, es la capacidad que tiene el suelo para soportar una carga sin que se produzcan fallas. La capacidad de carga varía no solamente con la resistencia del suelo, sino también con la magnitud y distribución de la carga. Cuando una carga se aplica en el suelo gradualmente éste se deforma y la curva carga-asentamiento es similar a las de esfuerzo deformación conocidas para algunos materiales. Cuando se alcanza la carga crítica de falla, la relación de deformación con respecto a la carga llega a un punto de máxima curvatura, que indica que se ha producido la falla de la masa del suelo. Es posible obtener varias curvas de acuerdo con el tipo de suelo que se haya cargado.

En el momento de la falla, la cimentación ejerce una presión, denominada máxima capacidad de carga o simplemente, la capacidad de carga del suelo. El suelo localizado inmediatamente debajo de la cimentación, se encuentra en compresión de manera similar a una muestra en la prueba de esfuerzo cortante triaxial.

Una manera práctica de realizar una identificación del tipo de suelo podría ser el siguiente método: si las partículas del suelo quedan adheridas entre sí, el suelo tiene cohesión y, si se puede moldear sin romperse posee plasticidad. Ambos comportamientos dependen del contenido de agua del suelo. El informe de campo ayuda a saber acerca de la consistencia aparente del suelo, además sirve como indicador de su comportamiento cohesivo o plástico. Después de quitar las partículas de 2 mm, se exprime un puñado de suelo con su humedad natural para tratar de moldearlo con la mano; a continuación se clasifica su consistencia como sigue:

- 1) Muy blando: cuando se escurre entre los dedos.



- 2) Blando: cuándo es fácil de moldear y se adhiere a la mano.
- 3) Firme: cuándo se moldea con facilidad a una presión moderada.
- 4) Muy firme: cuándo requiere presión considerable para moldearlo.
- 5) Duro: cuándo no se puede moldear con la presión de la mano.
- 6) Desmenuzable: cuándo se desmorona con la presión de la mano.

A menos que se cuente con un estudio de mecánica de suelos, se consideran tres categorías de resistencia del suelo presentadas en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Cimentaciones:

- 1) Suelos blandos, de 4 ton/m²
- 2) Suelos medios, de 6 ton/m²
- 3) Suelos duros, de 8 ton/m²

Consideramos conveniente señalar aquí dos cosas: primera, puntualizar la necesidad de realizar siempre que sea posible un estudio de mecánica de suelos para que tanto las características, así como los datos requeridos de cada suelo en particular sean exactos y precisos, de no ser así por lo menos se deben tomar en consideración datos del suelo que se hayan obtenido anteriormente para la construcción de instalaciones contiguas, y segunda, se debe considerar el estudio de mecánica de suelos como una inversión a largo plazo y no un gasto como se piensa normalmente, ya que el ahorro aparente en un inicio, puede posteriormente tener consecuencias muy serias, claro que el estudio depende y esta en estrecha relación con el costo y tamaño del o los equipos por cimentar.

3.5.6. Diseño estructural

El objeto del diseño estructural tiene como finalidad determinar un conjunto de características geométricas, y de materiales así como de especificaciones con las que debe cumplir la cimentación, y los elementos que la conforman, tal que su configuración estructural sea capaz de soportar en forma segura y adecuada las cargas aplicadas satisfaciendo las condiciones de resistencia, servicio y costo que se establecieron como objetivos. Este proceso presenta varias actividades, las cuales se describen a continuación:



- 1) Establecer requisitos de seguridad y servicio. Esto es, definir las condiciones necesarias para un funcionamiento seguro y adecuado de la cimentación.
- 2) Definir y evaluar acciones. Identificar los agentes externos o inherentes a la estructura o a su funcionamiento, cuyos efectos sobre la cimentación puedan hacer que se violen los requisitos establecidos en el párrafo anterior.
- 3) Análisis estructural. El análisis consiste en modelar el sistema estructural mediante una representación matemática, y determinar la respuesta de la cimentación propuesta, correspondiente a las cargas aplicadas. El análisis debe satisfacer las condiciones de equilibrio, compatibilidad y relaciones esfuerzo-deformación de los materiales. Se tienen tres pasos en esta etapa:
 - A) Establecer el modelo matemático.
 - B) Realizar el análisis del modelo matemático.
 - C) Interpretación física de los resultados.
- 4) Diseño preliminar o prediseño. En el diseño preliminar se propone una configuración estructural inicial y dimensiones estimadas de los elementos estructurales, las cuales cubren algunas de las condiciones claves del diseño (criterios de diseño). La automatización de este paso es factible por medio de un sistema experto.
- 5) Definir y evaluar resistencias. Estimar la capacidad que pueden tener los elementos estructurales preliminares para soportar los efectos de las acciones, en función de sus características geométricas y materiales.
- 6) Dimensionamiento. Para un caso típico este es un diseño detallado que implica la selección del material, del tipo de sección transversal y del dimensionamiento de los componentes estructurales satisfaciendo todas las condiciones de diseño. Esta etapa también se subdivide en varios subproblemas jerárquicos, por ejemplo, el dimensionamiento de los principales componentes estructurales (vigas, columnas, etc.) seguido del detallado de sus subcomponentes (conexiones, refuerzos, etc.). En cada subproblema existe una subdivisión adicional conforme a algunas condiciones



de control (resistencia de diseño, pandeo, etc.) seguida de la evaluación de condiciones secundarias.

El diseño estructural del bloque de cimentación en cuanto a su armado se hace de acuerdo a lo especificado en las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto, considerando básicamente los incisos de armados mínimos por cambios volumétricos debidos a la temperatura, ya que por lo regular son estructuras que no tienen esfuerzos de flexión considerables.

3.5.6.1. Condición Estática

El análisis estático de una estructura se define como el proceso para determinar la respuesta estructural de un modelo idealizado ante solicitaciones de tipo gravitacional, pudiendo ser temporales o permanentes. En el diseño de cimentaciones, es común diseñar por medio de procedimientos desarrollados localmente utilizando carga estática amplificada únicamente. Estos procedimientos consisten en incrementar el peso de la cimentación 3 a 5 veces el peso de la maquinaria por lo menos, y otro es, de tantos metros cúbicos de concreto por cada kilo-Watt de potencia de la maquinaria. Este criterio de análisis y diseño representa una de las formas más simplistas de solucionar el problema de índole dinámica, el uso de este método aunque se basa en un concepto básico de la dinámica de las cimentaciones, el cuál consiste en proporcionar masa a la cimentación conocida como masa inercial, tal característica no considera los parámetros de amortiguamiento, la rigidez del suelo, la frecuencia de operación y la de resonancia.

3.5.6.2. Condición Pseudodinámica

El análisis Pseudodinámico es utilizado ampliamente para el diseño de cimentaciones de maquinaria, consiste en incrementar el peso propio de la maquinaria con un factor de impacto igual a 1.5, este factor corresponde a considerar la operación de la maquinaria, y así, diseñar la cimentación únicamente a la carga estática incrementada, de tal forma que cumpla con las condiciones de capacidad de carga del terreno y de asentamientos permisibles. En esta primera etapa de desarrollo CIMEQ realizará el análisis y prediseño de cimentaciones para equipo basándose en esta condición pseudodinámica.



3.5.6.3. Pernos de anclaje

A continuación se presentan los pernos estandarizados utilizados para el anclaje de cimentaciones para maquinaria, la figura de cada tipo de perno presenta un corte donde se visualizan perfectamente las dimensiones involucradas, y en la tabla contigua están las dimensiones correspondientes a cada letra de acuerdo con el diámetro en octavos de pulgada de cada perno.

Cabe hacer mención que existen más pernos disponibles para el anclaje, sin embargo los presentados aquí son los más utilizados en el diseño ya que cumplen con todas las condiciones requeridas para cualquier tipo de equipo, además de que el acero cumple con la norma ASTM A307.

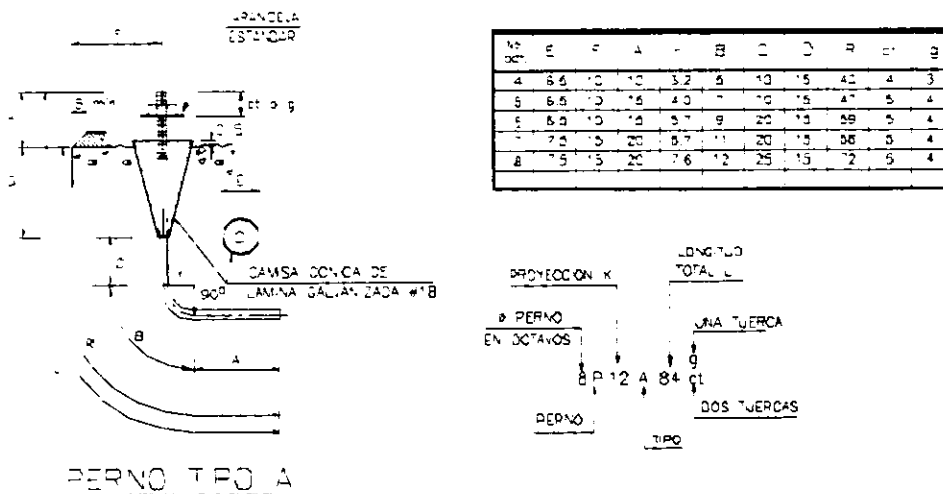
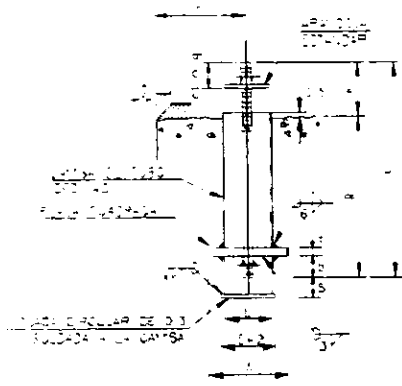


Fig. 3.1. Perno tipo A

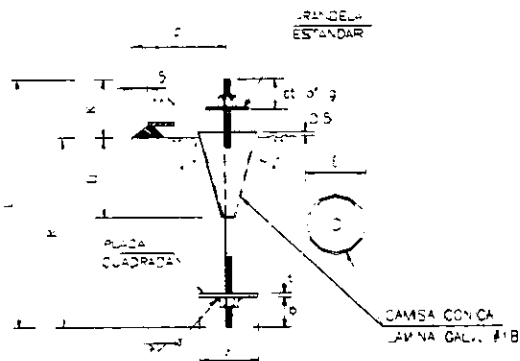


UN	R	D	E	A	F	D	A	G
1	3	1.5	6.5	7	15	3	1.3	4
2	3	1.5	6.5	7	15	3	1.3	4
3	3	1.6	6.5	7	15	3	1.3	4
4	3	1.6	6.5	7	15	3	1.3	4
5	4	1.9	8	3	25	5	1.6	4
6	4	1.9	8	3	25	5	1.6	4
7	4	1.9	8	3	25	5	1.6	4
8	4	1.9	8	3	25	5	1.6	4
9	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
10	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
11	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
12	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
13	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
14	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
15	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
16	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
17	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
18	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
19	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
20	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
21	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
22	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
23	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4
24	4	2.0	8	3	25	5	1.6	4



PERNO TIPO B

Fig. 3.2. Perno tipo B



UN	R	D	E	A	F	D	A	G
4	30	1.5	6.5	8	15	3	1.3	4
5	40	1.5	6.5	8	15	3	1.3	4
6	40	1.5	6.5	8	15	4	1.3	5
7	45	1.5	7.5	10	15	4	1.6	4
8	45	1.5	7.5	10	15	4	1.6	4
9	50	1.5	8	12	20	5	2.2	5
10	50	1.5	8	13	20	5	2.5	6
11	60	2.0	10	14	20	5	2.5	10
12	65	2.0	10	16	25	6	3.2	10
13	70	2.0	10	17	25	6	3.2	11
14	75	2.5	13	18	25	6	3.8	11
15	80	2.5	13	20	25	6	3.8	11
16	85	2.5	13	21	25	6	3.8	11
18	90	3.0	15	23	30	9	4.4	10
20	95	3.0	15	26	30	10	5.1	11
22	100	3.0	15	28	30	10	5.1	12
24	105	3.0	15	30	30	11	5.1	12

PERNO TIPO H

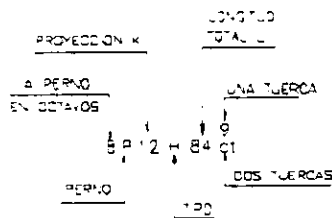


Fig. 3.3. Perno tipo H



3.5.6.4. Predimensionamiento

Para poder iniciar el análisis de la cimentación es necesario partir de unas dimensiones mínimas; estas son el resultado de diversos factores correspondientes a las disciplinas involucradas (Tuberías, Mecánica y Civil), los cuales son:

- 1) Para la fijación de las dimensiones en planta de la cimentación, se requiere conocer la dimensión del equipo y la distribución y diámetro de los pernos de anclaje y el recubrimiento mínimo que debe dárseles.
- 2) Conocer la capacidad de carga del terreno.
- 3) El espesor del bloque se fija inicialmente dependiendo el tipo, longitud y diámetro de los pernos utilizados, tomando en cuenta también el nivel superior de la cimentación en función del arreglo de tuberías y dimensiones del equipo, y por otra parte los niveles de pavimento o piso terminado correspondientes a la obra civil.

3.6. ELABORACIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO

La memoria de cálculo representa los apuntes y demás documentos generados para el cálculo, son las notas del ingeniero diseñador y en ella deben estar todas las bases teóricas, así como tablas, gráficas y demás apoyos en los que se basó para obtener los resultados presentados, en otras palabras, la memoria de cálculo representa el soporte analítico de cualquier diseño.

De acuerdo con los requerimientos y procedimientos de trabajo que se utilizan en el Instituto Mexicano del Petróleo, particularmente en los que se refieren a la elaboración de las memorias de cálculo, CIMEQ emitirá la memoria de calculo conteniendo lo siguiente :

- 1) Número de contrato.
- 2) Nombre del proyecto.
- 3) Nombre de la persona que elaboro, y la fecha.
- 4) Datos del problema



- 5) Información o resultados, aquí deberá estar todos los resultados generados por los procedimientos de trabajo utilizados.

En el anexo N° 2 se localiza el formato general que tendrá la memoria de cálculo.

3.7. EJEMPLO

Aquí se presenta a manera de ejemplo, el procedimiento de prediseño de una cimentación para maquinaria considerando la condición pseudodinámica, así como los datos y características siguientes:

Revisión pseudodinámica

3.7.1. Datos del problema

Datos del equipo

W_E	= 8 ton
Dimensiones de la base	= 1.50 m x 3 m x 0.019m
6 Agujeros , ϕ	= 1 1/2"
Perno	= Tipo H
Altura al eje de rotación	= 0.90 m

Datos estructurales:

$f'c$ (cimentación)	= 250kg/cm ²
$f'c$ (plantilla)	= 100kg/cm ²
f_y	= 4200kg/cm ²

Datos de mecánica de suelos:

Capacidad de carga, $q = 8.0 \text{ ton/m}^2$

Niveles y localización:

Nivel de desplante $D_f = 0.50 \text{ m}$

Información general:

F.C. (carga gravitacional) = 1.5



F.C. (carga accidental)	= 1.1
Tipo de terreno	= Tipo II
Zona sísmica	= Zona B
Factor de impacto	= 1.5

3.7.2. Desarrollo

1.- Proposición de dimensiones iniciales (mínimas):

Tomando en consideración el tipo de perno propuesto y revisando la tabla de datos correspondiente en el subtema 3.5.6.3., tenemos una distancia mínima F al borde de la cimentación de 25 cm, por lo tanto, las dimensiones de la cimentación en planta, se deben aumentar 50cm en ambos sentidos, partiendo de las dimensiones de la base del equipo.

Por lo tanto, tenemos:

$$b = 2.00 \text{ m}$$

$$L = 3.50 \text{ m}$$

2.- Determinación del peralte necesario:

Tomando en consideración la longitud ahogada necesaria R del perno igual a 65 cm, y la distancia de recubrimiento al acero de refuerzo, se determina un peralte total igual a:

$$h = 0.72 \text{ m}$$

* La punta del perno no debe ir mas allá que la capa inferior de acero de refuerzo

3.- Calculo del peso de la cimentación:

$$W_{\text{CIM}} = [(0.72 \text{ m} \times 2.00 \text{ m} \times 3.50 \text{ m})] \times 2.4 \text{ ton/m}^3$$

$$W_{\text{CIM}} = 12.10 \text{ ton}$$

4.- Peso total:

$$W_{\text{TOT}} = [W_{\text{CIM}} + (W_E \times \text{Factor de impacto})] \times \text{Factor de carga}$$



$$W_{TOT} = [12.10 \text{ ton} + (8 \text{ ton} \times 1.5)] \times 1.5$$

$$W_{TOT} = 36.15 \text{ ton}$$

5.- Revisión por capacidad de carga (carga gravitacional):

$$\sigma_{ACTUANTE} = \frac{36.15 \text{ Ton}}{2.00 \text{ m} \times 3.50 \text{ m}} = 5.16 \text{ Ton /m}^2 < 8.0 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_{ACT} < \sigma_{PERM}$$

Por lo tanto la sección por carga gravitacional es adecuada.

6.- Revisión por sismo (carga accidental):

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S}$$

6.1) Calculo del momento M:

$$V = W_E \times \text{Coef. sísmico}$$

$$\text{Coef. sísmico} = C \times \text{factor de importancia} = 0.30 \times 1.5 = 0.45$$

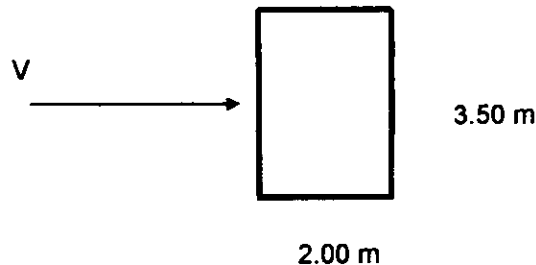
$$V = 8 \text{ ton} \times 0.45 = 3.6 \text{ Ton}$$

$$M = V \times (\text{altura al eje de rotación} + \text{peralte } h \text{ del bloque})$$

$$M = 3.6 \text{ ton} \times (0.90\text{m} + 0.72\text{m}) = 5.83 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

6.2) Calculo del módulo de sección S:

Considerando la dirección más desfavorable para el bloque, tenemos:



$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{3.50 \text{ m} (2.00\text{m})^2}{6} = 2.33 \text{ m}^3$$

$$\sigma = \left[\frac{(12.10 \text{ ton} + 8 \text{ ton})}{2 \text{ m} \times 3.50 \text{ m}} + \frac{5.83 \text{ ton}}{2.33 \text{ m}^2} \right] 1.1 = 5.91 \text{ Ton/m}^2 < 8.0 \text{ ton/m}^2$$



$$\sigma_{ACT} < \sigma_{PERM}$$

Por lo tanto la sección por carga accidental es adecuada.

6.3) Revisión por aplastamiento:

N.T.C.

$$f^*c = 0.8 f'c = 0.8 (250 \text{ kg/cm}^2) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{PERM} = FR f^*c = 0.7 (200 \text{ kg/cm}^2) = 140 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_E = 8000 \text{ kg}$$

$$A = 1.50 \text{ m} \times 3.00 \text{ m} = 4.50 \text{ m}^2 = 45000 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{ACT} = \frac{8000 \text{ kg}}{45000 \text{ cm}^2} = 0.18 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{PERM} > \sigma_{ACT}$$

A.C.I.

$$\sigma_{PERM} = \phi (0.85 f'c) = 0.7 (0.85 \times 250 \text{ kg/cm}^2) = 148.75 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{PERM} > \sigma_{ACT}$$

6.4) Revisión por cortante:

N.T.C.

$$A_s = \text{pbd}$$

$$P = \frac{A_s}{bd} = \frac{19.8 \text{ cm}^2}{200 \times 72 \text{ cm}} = 0.0014$$

$$VCR = Fr b d (0.2 + 30p) \sqrt{f^*c} = 0.8 (200 \text{ cm}) (72 \text{ cm}) (0.2 + 30 \times 0.0014) \sqrt{200 \text{ kg/cm}^2}$$

$$VCR = 39426 \text{ kg} > 8000 \text{ kg}$$

A.C.I.

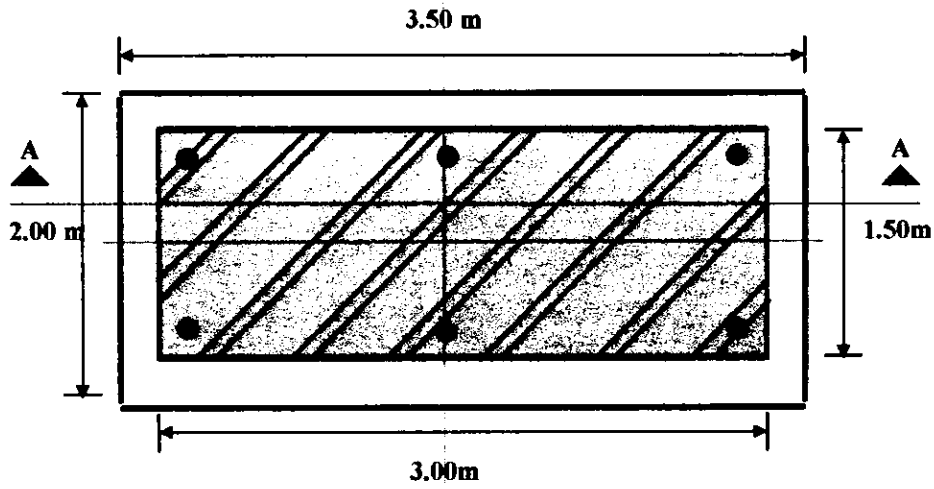
$$V_c = 0.55 \sqrt{f'c} b w d = 0.55 \sqrt{250 \text{ kg/cm}^2} (200 \text{ cm}) (72 \text{ cm}) = 125226 \text{ kg}$$

$$V_c > 8000 \text{ kg}$$

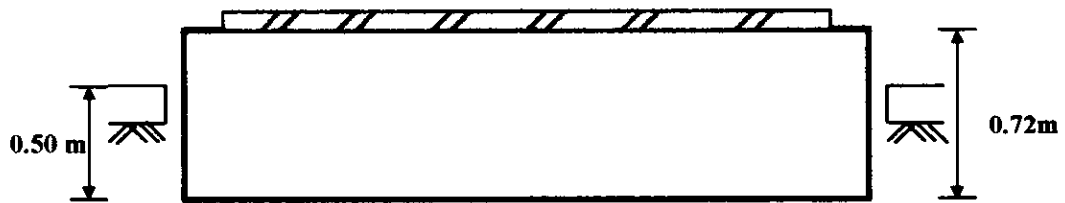
Como podemos observar, los esfuerzos tanto de aplastamiento como de cortante están muy por debajo de los esfuerzos permisibles, por lo que dichas revisiones no serán ejecutadas por CIMEQ.



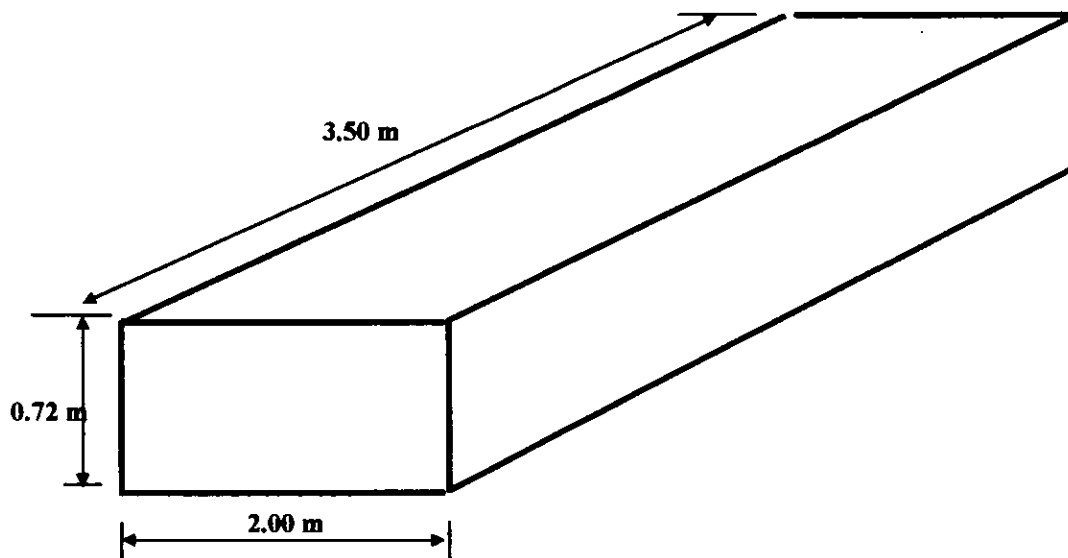
3.7.3. Geometría final



PLANTA DIMENSIONAL



CORTE A-A



ISOMETRICO



3.7.4. Cálculo del armado.

Una vez aceptadas las dimensiones de la cimentación, se procede a la etapa final del diseño, la cual únicamente consiste en proporcionar acero de refuerzo en las caras laterales del bloque de cimentación para evitar agrietamientos por cambios volumétricos:

$$a_s = \frac{660 X_1}{f_y (X_1 + 100)} = \frac{660 \times 72}{4200 (72 + 100)} = 0.066 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Sentido largo:

$$0.066 \text{ cm}^2/\text{cm} (200\text{cm}) = 13.20 \text{ cm}^2 (1.5) = 19.80 \text{ cm}^2$$

Proponemos Varillas del # 4, $a_s = 1.27 \text{ cm}^2$; 16 varillas;

$$\text{Separación} = \frac{L}{\text{N}^\circ \text{ Vars}} = \frac{200 \text{ cm}}{16} = 12 \text{ cm}$$

Sentido corto:

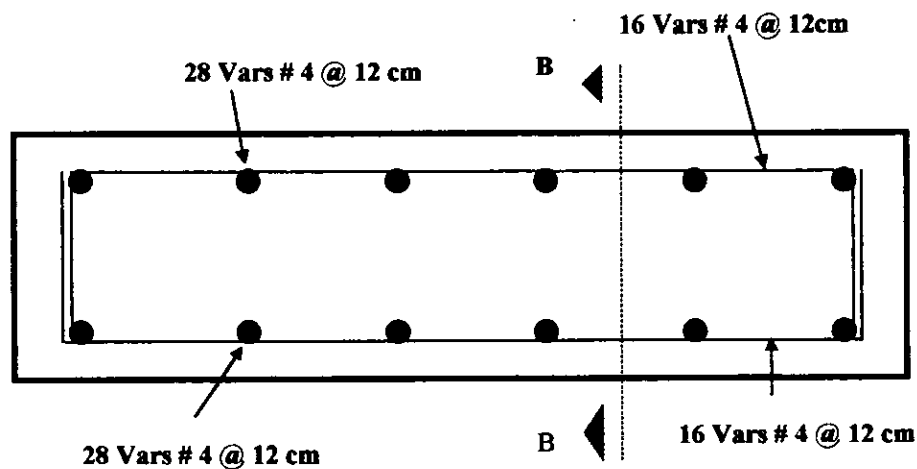
$$0.066 \text{ cm}^2/\text{cm} (350\text{cm}) = 23.10 \text{ cm}^2 (1.5) = 34.7 \text{ cm}^2$$

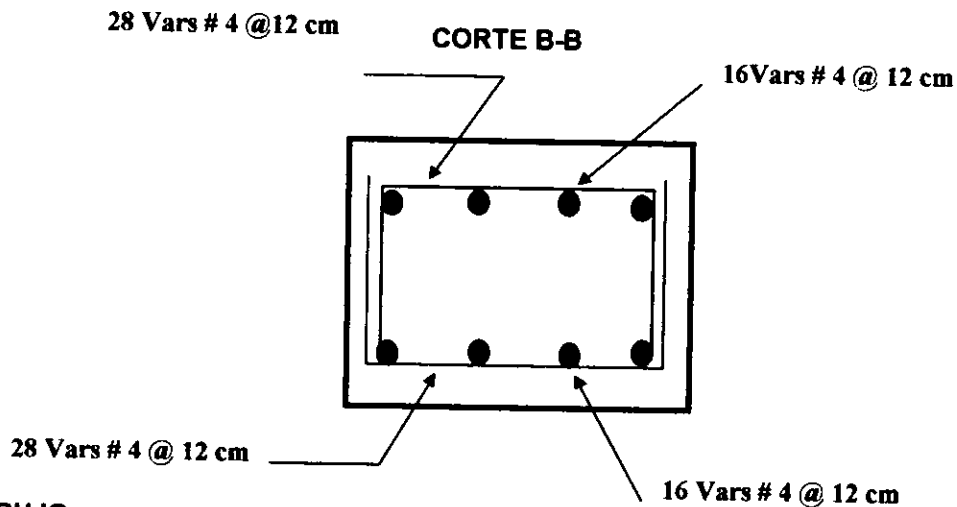
Proponemos Varillas del # 4, $a_s = 1.27 \text{ cm}^2$; 28 varillas;

$$\text{Separación} = \frac{L}{\text{N}^\circ \text{ Vars}} = \frac{350 \text{ cm}}{28} = 12 \text{ cm}$$

3.7.5. Secciones.

CORTE A-A





3.8. DIBUJO

Los planos de ingeniería son los que prepara el ingeniero para el propietario o cliente de servicios de ingeniería, y las especificaciones estructurales forman parte de los documentos del contrato, además, tanto los planos como las especificaciones de ingeniería deben contener una serie adecuada de notas y toda la información esencial adicional, organizadas de manera tal que puedan interpretarse rápida y correctamente.

Por lo general, los planos muestran una planta, elevaciones y secciones, así como los detalles; generalmente la planta debe dibujarse en la esquina superior izquierda del plano, con las elevaciones y detalles abajo y a la derecha del plano; cuándo los detalles o las condiciones poco comunes requieren el empleo de símbolos o abreviaturas especiales, los planos deben explicar las notaciones empleadas.

Para la elaboración de los planos, en el Instituto Mexicano del Petróleo se debe cumplir con un procedimiento que permita elaborarlos en forma uniforme y consistente, conteniendo detalles y los datos constructivos correspondientes, como se había mencionado anteriormente, la elaboración automática de los planos esta considerada dentro de una etapa posterior de desarrollo de CIMEQ, después de lo cuál el sistema estará capacitado para atender de forma óptima todas y cada una de las especificaciones para la emisión de los planos correspondientes, cabe mencionar que el proceso de trabajo ya esta concebido de forma teórica y es el siguiente:

- 1) Para el desarrollo de los dibujos es necesario utilizar computadoras personales que tengan cargados los paquetes correspondientes para dibujo en su última versión, o la que se este trabajando en ese momento.



- 2) El tamaño de los planos serán los tamaños estándar, utilizados en los proyectos. El formato o tamaño a utilizar por el sistema será de preferencia el tamaño "N", pero se podrán utilizar los tamaños A,B,C y E, dependiendo de las necesidades de cada dibujo. El tamaño de los diferentes planos es el siguiente :

A	21.5 x 28.0 cm
B	43.0 x 28.0 cm
C	56.0 x 42.0 cm
N	56.0 x 91.4 cm
N+1	71.0 x 91.4 cm
E	56.0 x 127.0 cm
NX	76.0 x 107 cm

- 3) En el plano estructural, se dibuja la planta de la cimentación con la localización de los pernos de anclaje, según el fabricante y los estándares del I.M.P. las elevaciones y cortes necesarios con los armados principales ; en las notas se escriben las recomendaciones más importantes, dadas por el fabricante, y el diseñador, con respecto a la cimentación.
- 4) Las escalas que se utilizarán serán las mas usuales y comunes como a continuación se indica: 1 :10, 1 :15, 1 :20, 1 :25, 1 :30, 1 :40, 1 :50, 1 :75, 1 :100 o múltiplos de 10 o 100 de estas mismas escalas. En todos los planos de ingeniería se deben indicar las escalas empleadas, de preferencia debajo del título de cada vista.

CIMEQ estará capacitado para elegir la escala más adecuada de acuerdo al tamaño y tipo de la cimentación de que se trate.

- 5) Las acotaciones que determinen las dimensiones de los elementos representados y su relación con respecto a otros deben ser anotados en centímetros y donde corresponda a elementos estructurales de acero o soldadura deben darse en milímetros y se abreviará (mm).
- 6) Los ángulos deberán expresarse en grados, minutos y segundos.



- 7) Las coordenadas que definan la localización, puntos de apoyo o referencia deben ser indicadas en metros de preferencia, o en kilómetros según la necesidad del dibujo.
- 8) Las elevaciones o cotas de nivel que determinen posición respecto a un banco de nivel o lugar de referencia previamente establecido, deben indicarse en metros.
- 9) En casos particulares, se pueden utilizar unidades del sistema inglés, solo si anteceden a estas las unidades del sistema métrico decimal, y las del sistema inglés quedan a continuación limitadas por paréntesis.
- 10) Todos los letreros deben ser claros y legibles.

3.9. VOLUMEN DE OBRA

Esta actividad representa la cuantificación de todos los materiales que intervienen en el diseño; para llevar a cabo este trabajo, es necesario cumplir con los requerimientos y procedimientos de trabajo del departamento de Ingeniería civil concreto, del I.M.P. en lo correspondiente al cálculo de volumen de obra, basados en dos premisas fundamentales: Uniformizar la presentación del volumen de obra, y establecer el criterio en el cálculo del mismo.

3.9.1. Generación de cantidades de obra

Los conceptos de obra son las actividades que el contratista debe realizar en la ejecución de un proyecto, y aunque CIMEQ no emitirá los números generadores, debemos conocer como se realiza el procedimiento tomando en consideración lo siguiente: Los conceptos a utilizar serán, cuando sean aplicables, los enlistados en el catálogo de conceptos para obras de PEMEX, (ver tabla 3.1.), salvo que se indique el uso de otro catálogo; cuando se requieran conceptos que no estén contenidos en el catálogo, estos deben incluirse al final de la lista de conceptos. La cuantificación para cimentaciones de maquinaria debe seguir el proceso siguiente :

- 1) Obtención e identificación de la información
- 2) Relación de los conceptos de obra aplicables para cimentaciones de maquinaria, de acuerdo al catálogo de conceptos para obras de PEMEX,



- 3) Desarrollo de los números generadores en el orden descrito en el punto anterior.
- 4) Debe de dibujarse o anexarse croquis del elemento que se esta cuantificando, mostrando : acotaciones, niveles y toda referencia utilizada para la cuantificación. Los totales de los conceptos deben indicarse claramente y las unidades deben ser congruentes a las establecidas en el catalogo de conceptos.
- 5) No se permite el uso de suposiciones, relaciones u otro instrumento para dar valores de volumen de obra aproximados, dado que esto dificulta su revisión y/o adecuación para cambios posteriores
- 6) No se permite el uso de dibujos o croquis poco legibles, ni de indicaciones mediante ralladuras.
- 7) Debe hacerse un resumen donde se indique el concepto de obra, la cantidad y unidad, y los resultados de la cuantificación. Se debe anexar copia de toda la información utilizada.

En el anexo N° 2 se localiza el formato general que tendrá la cuantificación, cabe aclarar que CIMEQ solo emitirá el listado conforme al catalogo de conceptos para obras de PEMEX.

Para el ejemplo anterior, el volumen de obra es el siguiente:

1) Trazo y nivelación

Dejando una holgura de 50 cm en el perímetro, tenemos:

$$3.0 \text{ m} \times 4.50 \text{ m} = 13.50 \text{ m}^2$$

2) Excavación, material tipo A:

Dejando una holgura de 50cm en el perímetro para cimbra y maniobras, y 5cm para plantilla, tenemos:

$$3.0 \text{ m} \times 4.50 \text{ m} \times 0.55 \text{ m} = 7.43 \text{ m}^3$$



3) Relleno:

$$\text{Volumen ocupado por la cimentación} = 2.0\text{m} \times 3.50\text{m} \times 0.50\text{m} = 3.50\text{m}^3$$

$$\text{Volumen ocupado por la plantilla} = 0.05\text{m} \times 2.4\text{m} \times 3.90\text{m} = 0.47\text{m}^3$$

$$\text{Volumen de relleno} = \text{Excavación} - \text{Volumen ocupado} = 7.43\text{m}^3 - 3.97\text{m}^3 = 3.46\text{m}^3$$

4) Traspaleo hasta 4 metros:

$$3.97\text{m}^3 \times \text{coef. Abundamiento} = 3.97\text{m}^3 \times 1.30 = 5.16\text{m}^3$$

5) Acarreo en carretilla hasta 50 m:

$$5.16\text{m}^3$$

6) Carga y acarreo 1er. Km, en camión:

$$5.16\text{m}^3$$

7) Carga y acarreo, Kms. subsecuentes:

$$5.16\text{m}^3$$

8) Elaboración de concreto:

8.1) $f'c = 100\text{kg}/\text{cm}^2$; plantilla de 5 cm de espesor y una holgura de 20cm por lado.

$$3.90\text{m} \times 2.40\text{m} \times 0.05\text{m} = 0.47\text{m}^3$$

8.2) $f'c = 250\text{kg}/\text{cm}^2$; cimentación.

$$2.00\text{m} \times 3.50\text{m} \times 0.72\text{m} = 5.04\text{m}^3$$

9) Vaciado con botes:

$$9.1) 5\text{ cms} = 9.36\text{m}^2$$

$$9.2) \text{Cimentación} = 5.04\text{m}^3$$

10) Cimbra en reglas y fronteras:

$$\text{Perímetro del bloque} = 2 (2.00\text{m}) + 2 (3.5\text{m}) = 11.0\text{m}$$

$$11.0\text{m} \times 0.72\text{m} = 7.92\text{m}^2$$



11) Habilitado y colocación de acero de refuerzo:

Varillas del # 4; $\phi = 1.27$ cm; rec = 5 cm; Peso = 0.99 kg/m

32 vars $\{[(3.5 \text{ m}) - 2(0.05 \text{ m})] + 2 [0.72 \text{ m} - 2(0.05\text{m})] \} = 148.48 \text{ m}$

56 vars $\{[(2.0\text{m}) - 2(0.05 \text{ m})] + 2 [0.72 \text{ m} - 2(0.05\text{m})] \} = 175.84 \text{ m}$

Total = 324.32 m

$324.32 \text{ m} (0.99 \text{ kg/m}) = 321.08 \text{ kg} = 0.321 \text{ ton}$

Refuerzo = $\frac{321.08 \text{ kg}}{5.04\text{m}^3} = 64 \text{ kg/m}^3$

cumple con el requerimiento mínimo de C.F.E

12) Junta de expansión 25cm x 25cm:

Perímetro = 11 m

13) Elaboración y colocación de compuesto rellenedor Grout 648 de Ceilote, espesor

2.5cm:

$1.5 \text{ m} \times 3.0\text{m} \times 0.025 \text{ m} = 0.112\text{m}^3 = 112 \text{ lt}$

14) Perno tipo "H", $\phi = 1 \frac{1}{2}$ "

R = 0.65 m

Grout = 0.025 m

Placa = 0.0191 m

ct = 0.10 m

Long. Total = 0.80 m

15) Limpieza general:

Dejando una holgura de 50 cm en el perímetro, tenemos:

$3.0 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} = 13.50 \text{ m}^2$

3.9.2. Catálogo de conceptos

El catalogo de conceptos considerado CIMEQ para vaciar los resultados de la cuantificación son los enlistados en el catalogo de conceptos para obras de PEMEX que a continuación se presenta:



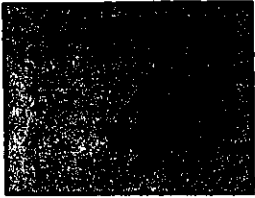
Tabla 3.1. Catalogo de conceptos de obras de Pemex para cimentaciones de maquinaria

N°	CONCEPTO	UNIDAD	CANT.	P.U	IMPORTE
1	Limpieza, trazo y nivelación en áreas urbanas o urbanizadas y trabajos topográficos				
1.1	Trazo y nivelación	m ²			
2	Cimentación Excavación para estructura y cimentación				
2.1	Excavación con herramienta manual (volumen medido en banco).				
2.2	Material tipo A de 0 a 2.00 m de profundidad	m ³			
3	Cargas acarreo y traspaleos con herramienta manual (volumen medido suelto).				
3.1	Traspaleos hasta 4 m.	m ³			
3.2	Acarreo en carretilla hasta 50m	m ³			
3.3	Carga y acarreo 1er km en camión	m ³			
3.4	Carga y acarreo kms. Subsecuentes	m ³			
4	Rellenos y compactación Rellenos con equipo mecánico y/o herramienta manual, compactado al 95%				
4.1	De arena compactada con suministro de material de banco	m ³			
5	Elaboración de concreto hidráulico, agregado máximo 19 mm, cemento normal				
5.1	f'c = 100 kg/cm ²	m ³			
5.2	f'c = 250 kg/cm ²	m ³			
6	Vaciados Con botes o carretillas acarreo hasta 50 m en: Plantillas, firmes, y piso con espesor:				
6.1	5 cm	m ²			
6.2	Cimentación de bases para equipos	m ³			
7	Aditivos				
7.1	Impermeabilizante integral para concreto f'c = 250kg/cm ²	lt/m ³			
8	Cimbrados				
8.1	En reglas y fronteras	m ²			
9	Habilitado y colocación de acero de refuerzo				
9.1	Acero Fy = 4200 kg/cm ² (n°)	Ton			
10	Juntas de expansión				
10.1	Juntas de expansión de 2.5 x 2.0 cm, con sello de asfalto	ml			



PROCESO DE DESARROLLO DE LA INGENIERÍA TÍPICA

10.2	Cimentación de equipo	m ³ /ft			
10.3	Elaboración y colocación de compuesto relleno Grout 648 de Ceilote para recibir placas de asiento, espesor 2.5 cm	m ³ /ft			
11	Fabricación, suministro y colocación de pernos de anclaje				
11.1	Perno tipo , Diámetro = Longitud =	Pza			
12	Limpieza general	m ²			



DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

Los sistemas expertos en ingeniería civil son una etapa más de la evolución que ha tenido la computación aplicada en ingeniería. Prácticamente en todas las áreas de la ingeniería civil se han desarrollado programas del tipo algorítmico utilizando extensas bases de datos. Estos sistemas de cómputo se pueden agrupar en lo que se conoce como ingeniería, diseño y dibujo asistido por computadora, de los cuales existe un sinnúmero de ejemplos que van desde una simple aplicación para el cálculo de vigas hasta sofisticados programas de análisis.

En los últimos años ha cobrado fuerza el uso de sistemas expertos que en un principio no eran en sentido estricto SE como ahora se les concibe, pero que sin embargo eran los primeros intentos por aprovechar las nuevas metodologías que ofrece la computación aplicada.



4.1. Clasificación del conocimiento en Ingeniería civil

El conocimiento en ingeniería civil es de diversa naturaleza y complejidad, una clasificación convencional es la siguiente¹:

- 1) Principios básicos. Son las leyes físicas que se utilizan en la ingeniería, por ejemplo, en ingeniería estructural la mecánica (rama de la física) establece algunos principios, como son las leyes del movimiento de Newton, principio del trabajo y la energía, principio de conservación de la energía, etc.
- 2) Modelos basados en resultados experimentales. Son modelos generalmente basados en resultados experimentales o en extrapolaciones de leyes fundamentales, expresados como ecuaciones diferenciales u otras expresiones matemáticas; ejemplos de tales modelos son las relaciones presión-volumen, leyes esfuerzo-deformación, etc.
- 3) Modelos analíticos. Los modelos analíticos o modelos matemáticos de un medio continuo pueden servir para analizar el comportamiento de vigas, columnas, placas, etc.
- 4) Representación numérica. Son formas numéricas de los modelos analíticos, uno de los mejores ejemplos en análisis estructural son los programas de elementos finitos y de los elementos de frontera, los cuales son técnicas numéricas o algorítmicas para la solución de ecuaciones diferenciales, conceptualmente parten de un principio básico conocido como discretización, lo que significa dividir la función en un número finito de partes en las que se encuentra la solución para posteriormente ensamblarlas y así obtener la solución en el dominio total.
- 5) Representación heurística. Puede usarse para representar muchos tipos de conocimiento, por ejemplo, expresar aspectos fundamentales de los principios básicos, versiones integradas de modelos experimentales y matemáticos, criterios de selección sobre el uso de programas convencionales, reglas de evaluación, o conocimiento de carácter empírico para decidir como emplear otro tipo de conocimiento.

1. Cervantes Martínez. Manuel. 1997 "Sistemas Expertos Aplicados en Ingeniería Civil" . X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 1997



De la clasificación del conocimiento antes descrita cabe mencionar que en muchas ocasiones la actividad del ingeniero civil en muchos casos esta determinada por su experiencia personal para resolver un problema determinado, es decir, su actividad se ve guiada en muchos casos por todos aquellos conocimientos que ha adquirido a través del tiempo, es precisamente aquí donde CIMEQ juega un papel determinante, al introducir la programación de experiencias y criterios particulares así como la toma de decisiones para resolver un diseño en particular: el prediseño de cimentaciones para equipo.

4.2. Tareas en ingeniería civil

Es importante destacar de que manera CIMEQ apoya la labor del Ingeniero civil, primeramente deberemos distinguir cuales son las principales tareas que el ingeniero realiza y de que naturaleza son, para poder así precisar el área en donde actualmente los SE y particularmente CIMEQ son mayormente aplicables y utilizables.

Las principales tareas que realiza un ingeniero civil (ver fig. 4.1), se pueden distinguir en dos tipos, el primero son las llamadas de clasificación, tareas cuya solución se obtiene de hechos conocidos y de los datos propios del problema; por ejemplo, las tareas de diagnóstico, diagnóstico y selección, y de interpretación¹, en el segundo tipo, están las conocidas como tareas de síntesis, en las que la solución consiste en crear un objeto o establecer el procedimiento para la creación de un objeto; por ejemplo la planeación y el diseño. Una breve descripción de cada una de estas tareas son los siguientes ejemplos:

1) Tareas de clasificación:

- A) Diagnóstico. Identifica las causas que expliquen los síntomas observados en una falla del sistema estructural.

- B) Diagnóstico y selección. Determina una estrategia de análisis y selecciona las herramientas adecuadas para analizar una estructura, dadas ciertas restricciones de tiempo, costo y grado de precisión de la respuesta.

1. Dym C. and Levitt R. 1991 "Knowledge-Based Systems in Engineering" McGraw-Hill



C) Interpretación. Localiza la fuente y determina la magnitud de un sismo a partir de los registros de varios sismógrafos.

2) Tareas de síntesis:

A) Planeación. Planear el inicio, desarrollo y entrega de una construcción según las especificaciones establecidas, así como asegurar que no se tendrán retrasos en ninguna de las etapas de la construcción.

B) Diseño. Es el proceso de crear un objeto satisfaciendo ciertas condiciones (restricciones y normatividad) de resistencia y servicio, en términos de forma, dimensiones, materiales y localización.

De manera preliminar podemos decir que CIMEQ actúa realizando una tarea de síntesis, particularmente la tarea relacionada con el prediseño de una cimentación satisfaciendo ciertas condiciones determinadas previamente, es decir CIMEQ actúa dentro de la ingeniería estructural.

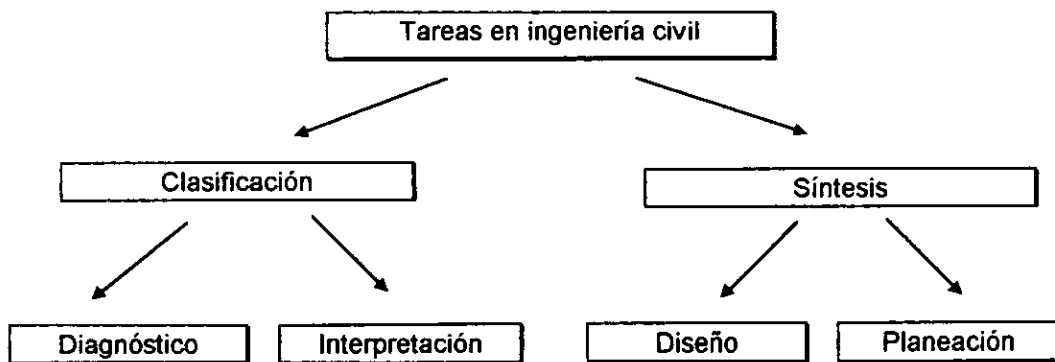


Fig. 4.1 Tareas en Ingeniería Civil

4.3. Ingeniería estructural asistida por computadora

De manera generalizada se puede decir que la toma de decisiones en el diseño estructural suele realizarse a través de una combinación de teorías científicas y técnicas analíticas, métodos experimentales, juicio y sentido común; lo que lleva a considerar que la información inicial es en muchos casos escasa, que existe una gran diversidad de fenómenos y variables que intervienen



en el comportamiento del problema y que las teorías existentes están fundamentadas en criterios y condiciones de aplicación específicas.

La aplicación de la computación en ingeniería estructural se remonta a la década de los 50's y ha dado lugar a un sinnúmero de programas de cómputo que se pueden agrupar de acuerdo al tipo de tarea que realizan, estas aplicaciones son los sistemas para la administración de bases de datos, los programas de análisis de propósito general y específico, interfases de usuario, sistemas de procesamiento estándar y sistemas para diseño estructural.

Los sistemas para la administración de bases de datos proporcionan el medio adecuado para almacenar grandes bases de información para utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones. Según su tipo de organización se clasifican en: tipo red, jerárquicas y relacionales, en particular las bases de datos del tipo relacional son las más convenientes para el diseño en ingeniería.

Los programas de análisis estructural de propósito general y específico son los que más se han desarrollado, por ejemplo, los que realizan análisis a gran escala, como son los métodos de los elementos finitos, disponiéndose también de una amplia variedad de programas que resuelven problemas más particulares que auxilian en el análisis de componentes estructurales o estructuras especiales.

Las interfases de usuario son importantes porque aumentan la productividad por medio de una mejor interacción hombre-máquina. Una de sus principales características actuales es que son muy amigables y más aún actualmente se están enfocando al desarrollo de paquetes en dos y tres dimensiones que faciliten la preparación y lectura de los datos, así como la interpretación de los resultados.

Los sistemas de procesamiento estándar sirven para dos propósitos: revisar los diseños para que estén conforme a las especificaciones y estándares de diseño, y dimensionar los componentes estructurales para que se comporten satisfactoriamente bajo las condiciones de resistencia y servicio, muchos de estos programas contienen las normas de los reglamentos de diseño y, generalmente, no son flexibles para el usuario, es decir, no pueden adaptarse fácilmente a las necesidades del usuario.



Los sistemas para diseño estructural realizan tareas de propósito especial que se ocupan del diseño de componentes específicos como son las losas, vigas y marcos. Presentan varias ventajas, por ejemplo, incluyen algunas reglas heurísticas, consideran ciertas normas de reglamentos como condiciones para la selección de componentes, dimensionamiento y revisión, las desventajas que tienen son que realizan una síntesis limitada y son altamente especializados e inflexibles.

Los programas descritos anteriormente proporcionan el medio para resolver un amplio intervalo de problemas de ingeniería estructural, sin embargo, estos programas son de naturaleza algorítmica y no son capaces de resolver eficientemente muchos problemas que requieren de un juicio basado en la experiencia, además, estos programas generalmente no comparten información de forma directa, pero ahora con los sistemas expertos basados en conocimiento junto con los tradicionales programas de ingeniería y diseño asistido por computadora, se dispone de la metodología para superar las limitaciones de los actuales sistemas.

4.4. Sistema experto de diseño

CIMEQ es un SE prototipo colega basado en conocimientos, creado para realizar el prediseño estático de cimentaciones para maquinaria bajo condición pseudodinámica, CIMEQ posee los estándares, normas, criterios y experiencias requeridas para el prediseño de este tipo de estructuras, este conocimiento formalizado mediante reglas de producción, las cuáles lo condensan de manera perfectamente bien estructurada, genera un diseño que satisface todas y cada una de las normas y requerimientos aplicables a cada caso, generando su memoria de cálculo y la cuantificación correspondiente, y todo esto en menos tiempo del que comúnmente ocuparía un experto humano.

4.4.1 Arquitectura del sistema

Cómo se aprecia en la figura 4.2, la arquitectura de CIMEQ consta de: un módulo maestro, el núcleo del sistema experto y el módulo de salidas, se observa que la arquitectura se encuentra dividida en 3 partes principales, de forma ideal ésta debería estar conformada en un solo núcleo central que gobernara todas y cada una de las actividades del sistema de una manera integral, desde la parte civil, el procesamiento de la información y la toma de decisiones, hasta la emisión de la cuantificación; sin embargo las herramientas de que disponemos hoy en día no nos permiten llevar a cabo este propósito.



Primeramente no existe ninguna herramienta capaz de manipular eficientemente procesos netamente numéricos y que manipule al mismo tiempo la toma de decisiones y el procesamiento de información y datos, y ni que decir de que además de todo lo anterior sea capaz de generar de manera automática la correspondiente memoria de cálculo y el volumen de obra; sin embargo la integración de estas fases se logró utilizando diversas herramientas de programación, programas de cómputo ya existentes y metodologías técnicas útiles para el desarrollo de sistemas, cada una de las cuales ofrece por separado las posibilidades de desempeño requeridas para desarrollar un solo sistema.

El módulo maestro es la parte que integra la interfaz, o sea la comunicación y el intercambio de información con el usuario, esta interfaz, realizada en un lenguaje de programación visual orientada a objetos, ofrece un ambiente muy amigable, comprensible y fácil de manejar y entender por el usuario; es en este módulo donde se realiza todo lo correspondiente a la parte civil y el cálculo numérico, basados en las reglas y en la metodología establecida, concentradas en el núcleo del sistema, además aquí las fases de análisis y diseño se inicializan y al final de cada proceso son representadas para que el usuario vea el estado final de cada diseño antes de requerir su salida, ya sea la memoria de cálculo, o la cuantificación.

El archivo de intercambio es parte esencial en la arquitectura del sistema, es la parte encargada de traducir la información emitida del módulo maestro hacia el núcleo del sistema y viceversa, a este archivo se debe el éxito en la integración de los módulos que conecta; cuándo el modulo maestro o el núcleo requieren información o algún proceso para el cuál no están capacitados, el archivo de intercambio permite la salida hacia el módulo o hacia el núcleo según corresponda para llevar a cabo la operación requerida, y una vez concluida es capaz de regresar al módulo inicial con la información o el resultado de una manera comprensible.

El núcleo del sistema experto es la parte central que realiza toda la toma de decisiones, es la parte que conforma la memoria y la aptitud de CIMEQ para inferir soluciones adecuadas a cada cimentación en particular. También dentro de la segunda etapa de desarrollo de CIMEQ, esta considerado desarrollar la capacidad de acumulación de diseños o trabajos realizados con anterioridad, útiles como sugerencia o punto de partida para nuevos diseños, esta capacidad adicional nos permitirá además que el sistema se actualice automáticamente con cada caso en particular, esto quiere decir que en un futuro CIMEQ será capaz de tomar los prediseños realizados como experiencia utilizable por el propio sistema. Las partes que conforman este núcleo son explicadas más adelante.



Una vez aceptado el prediseño, CIMEQ da paso a las salidas del sistema, esto se logra mediante un procesador de texto en el caso de la memoria de cálculo y la cuantificación. Todas y cada una de las partes del módulo de salidas serán explicadas más adelante.

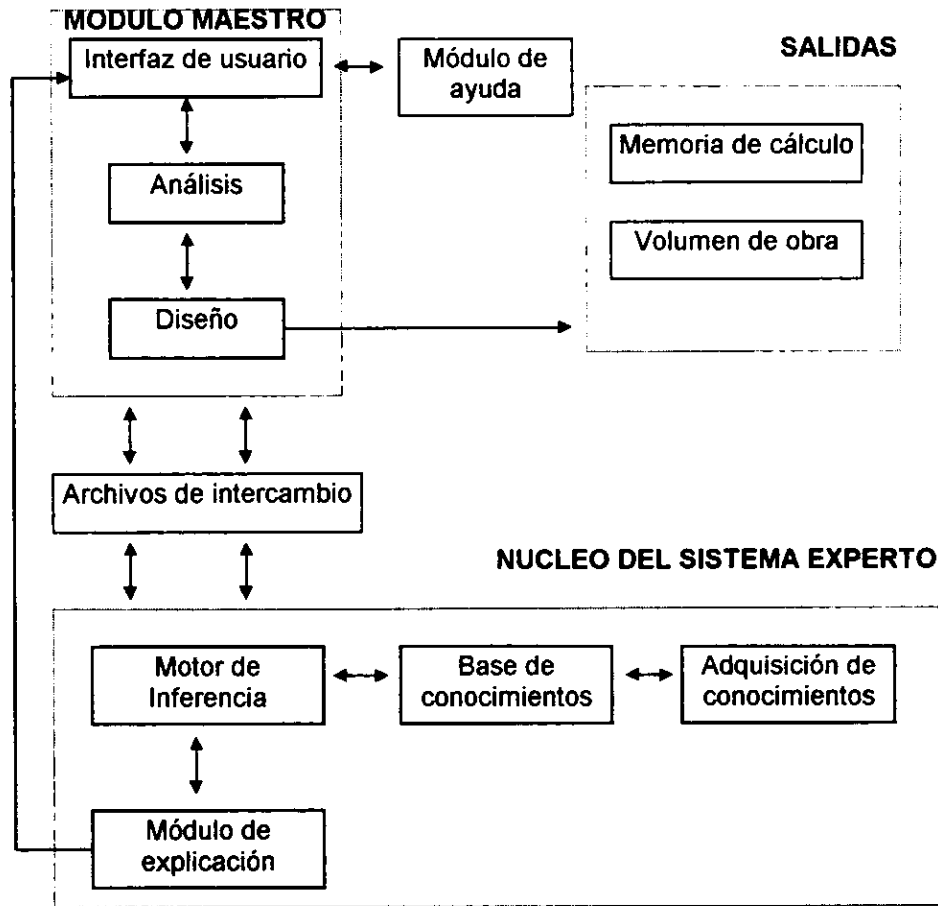


Fig. 4.2. Arquitectura de CIMEQ

4.4.2. Base de conocimientos

Como ya se había mencionado antes, la base de conocimientos es en donde está concentrado todo el conocimiento necesario para que CIMEQ funcione, es aquí donde se encuentran las reglas de producción que aseguran un diseño adecuado para la cimentación, atendiendo a todas las normas y reglamentos aplicables para cada caso. La base de conocimientos es la parte que requiere más cuidado en la construcción de un SE, y en nuestro caso fue la más difícil de conformar, debido a que el conocimiento debe estar perfectamente bien



estructurado y sobretodo, hasta donde sea posible, uniforme respecto a criterios y metodologías, esto es muy difícil de lograr en la realidad y sobre todo cuándo existen muchos ingenieros que resuelven el mismo problema de diversas formas como es el caso del IMP, sin embargo esto no quiere decir que se hayan descartado algunos procedimientos particulares, precisamente es aquí donde reside la potencia de CIMEQ, ya que es capaz de tomar en cuenta los diversos criterios existentes para dar una solución óptima que satisfaga plenamente las condiciones del problema.

4.4.2.1. Adquisición de conocimientos

Se puede decir que la toma de decisiones en el diseño estructural suele realizarse a través de una combinación de teorías científicas fundamentadas en criterios y condiciones de aplicación específicos y particulares, así como de técnicas analíticas, métodos experimentales, juicio, criterios y sentido común; lo que lleva a considerar que la información requerida es muy vasta, que existe una gran diversidad de fenómenos y variables que intervienen en el comportamiento del problema.

En el diseño de cimentaciones para maquinaria interviene una gran cantidad de conocimiento y de muy diversa naturaleza, dicho conocimiento va desde los principios básicos, como lo pueden ser las leyes de la estática, hasta toda una serie de conocimientos de tipo heurístico diferentes de acuerdo con cada ingeniero diseñador. Parte importante de todo este conocimiento es el hecho de que se debe saber perfectamente el entorno en el que se trabajará y los objetivos que se quieren concretar, esto se refiere a que se deben tener perfectamente bien identificadas todas las características de la maquinaria, las acciones a que estará sujeta la cimentación, el arreglo y niveles de las tuberías, tanto de succión como de descarga, los niveles permisibles y el peralte necesario para su buen funcionamiento, así como los diferentes tipos de cimentación y maquinaria que se pueden presentar, y sobre todo los factores que determinan la elección de uno u otro tipo y las características tanto geométricas como de resistencia que el bloque de cimentación debe satisfacer.

El disponer de toda la información antes descrita representa el caso ideal cuándo se diseña una cimentación para maquinaria, sin embargo es muy difícil que se presente esto en la realidad, sobre todo porque están involucradas muchas disciplinas de ingeniería, y es difícil que toda la información este disponible de manera expedita. Pensando en esta problemática y aprovechando las ventajas que ofrecen los sistemas expertos, CIMEQ esta capacitado para trabajar, aún cuándo la información de que se disponga sea insuficiente para llevar a cabo el diseño requerido; lo anterior se logró mediante la consideración de los intervalos posibles de todos



y cada uno de los parámetros que determinan el diseño, esto quiere decir que CIMEQ es capaz de trabajar a partir de datos, intervalos, conocimientos y criterios de diseño previamente programados y estructurados. El sistema ofrece la opción de trabajar con datos incompletos, para lo cuál hace uso de los intervalos de variación antes mencionados, los cuales van desde los tipos de maquinaria y su información mecánica, hasta los tipos de pernos recomendables, sus propiedades geométricas y su aplicabilidad de fijación para cada caso en particular.

Todo este conocimiento disponible y aprovechable desde CIMEQ es la piedra angular del mismo, y representó la parte más difícil de conformar. Todo este conocimiento proviene de todos los ingenieros involucrados en el proceso, sus diferentes puntos de vista y criterios, así como de una depuración exhaustiva del conocimiento necesario y de los procesos idóneos para resolver la mayor parte de los problemas existentes en la vida real, tomando en cuenta todas y cada una de las diferencias entre los mismos.

4.4.3. Formalización de conocimientos

La formalización de conocimientos consiste en estructurar el conocimiento en una determinada forma para que el lenguaje de CIMEQ sea capaz de entenderlo y procesarlo, dicha formalización corresponde en otras palabras a la traducción a un código de computadora de los conocimientos; como ya se había dicho anteriormente, las reglas de producción son un buen método para la correcta formalización y estructuración del conocimiento.

4.4.3.1. Reglas de producción

A continuación se presentan algunas reglas de producción utilizadas por CIMEQ.

Para mayor claridad, el listado presentado esta clasificado y separado de acuerdo a la tarea que realiza dentro de CIMEQ, además de que las reglas aquí presentadas contienen las fórmulas y ecuaciones necesarias de manera convencional y esquemática, los algoritmos numéricos fueron omitidos.



INICIALIZACION PARA PREDISEÑO

R.1.1 Si no se tiene ningún dato. Entonces realiza un prediseño
R.1.10 Si se tiene un equipo de entre 1 y 10 toneladas. Entonces se tiene un equipo pequeño
R.1.20 Si se tiene un equipo de entre 11 y 15 toneladas. Entonces se tiene un equipo mediano
R.1.30 Si se tiene un equipo de mas de 15 toneladas. Entonces se tiene un equipo grande
R.1.40 Si se tiene un equipo pequeño. Entonces proponemos un agujero de 1/2"
R.1.50 Si se tiene un equipo pequeño. Entonces proponemos 4 pernos
R.1.60 Si se tiene un equipo pequeño. Entonces proponemos 40 cm de altura al eje de rotación
R.1.70 Si se tiene un equipo mediano. Entonces proponemos un agujero de 1"
R.1.80 Si se tiene un equipo mediano. Entonces proponemos 6 pernos
R.1.90 Si se tiene un equipo mediano. Entonces proponemos 60 cm de altura al eje de rotación
R.1.100 Si se tiene un equipo grande. Entonces proponemos un agujero de 1 1/2"
R.1.110 Si se tiene un equipo grande. Entonces proponemos 8 pernos
R.1.120 Si se tiene un equipo grande. Entonces proponemos 90 cm de altura al eje de rotación
R.1.190 Si se tiene un equipo pequeño o mediano. Entonces se utiliza perno tipo A
R.1.200 Si se tienen 4, o menos pernos. Entonces se utiliza perno tipo A
R.1.210 Si se tienen agujeros de hasta 1 1/8". Entonces se utiliza perno tipo A
R.1.220 Si se utiliza perno tipo A. Entonces existe problema para dar la curva del perno
R.1.230 Si se tiene un equipo grande. Entonces se utiliza perno tipo B o H
R.1.240 Si se tienen mas de cuatro pernos. Entonces se utiliza perno tipo B o H
R.1.250 Si se tienen agujeros de hasta 3 1/8". Entonces se utiliza perno tipo B o H
R.1.260 Si se utiliza perno tipo B o H. Entonces no se tienen problemas para dar la curva del perno
R.1.270 Si se inicia con el peralte d mínimo del bloque de 50cm, Df = 30cm. Entonces se elige el perno tipo A, B o H, dependiendo de cual cumple con la longitud ahogada R, y la restricción al lecho inferior de 0.07m.
R.1.280 Si el peralte d mínimo no cumple con las restricciones. Entonces se aumenta el peralte de acuerdo a un intervalo hasta que cumpla
R.1.290 Si se utiliza perno tipo A. Entonces se toma la distancia F
R.1.300 Si se utiliza perno tipo B. Entonces se toma la distancia F
R.1.310 Si se utiliza perno tipo H. Entonces se toma la distancia F
R.1.320 Si no tenemos el valor de f 'c. Entonces proponemos f 'c = 250 kg/cm ²
R.1.330 Si no tenemos el valor de fy. Entonces proponemos fy = 4200 kg/cm ²



R.1.340 Si no tenemos la capacidad de carga del terreno blando, tipo III Entonces proponemos 4 ton/m²

R.1.350 Si no tenemos la capacidad de carga del terreno medio, tipo II. Entonces proponemos 5 ton/m²

R.1.360 Si no tenemos la capacidad de carga del terreno firme, tipo I. Entonces proponemos 8 ton/m²

R.1.370 Si no tenemos la zona sísmica. Entonces proponemos zona B

INICIO DE DISEÑO

R.2.1 Si se inicia con la geometría propuesta del bloque b y L. Entonces se aumenta F a b y L en ambos sentidos

R.2.10 Si se tiene fija la geometría b y L del bloque. Entonces se aumenta F a b y L en ambos sentidos

CALCULO DEL PESO DE LA CIMENTACIÓN

R.3.1 Si se tiene la geometría y el peralte final del bloque Entonces se calcula el peso de la cimentación: $W_{CIM} = (b \times L \times d) \times (\text{peso volumétrico del concreto})$

CALCULO DEL PESO TOTAL

R.4.1 Si se tiene el peso del equipo W_E . Entonces se afecta por un factor de impacto

R.4.10 Si se tiene W_E afectado por el factor de impacto Entonces se suma al peso de la cimentación W_{CIM}

R.4.20 Si se tiene la suma de W_{CIM} mas W_E afectado por el factor de impacto. Entonces todo se multiplica por el F.C:

R.4.30 Si todo esta multiplicado por el F.C.. Entonces tenemos el peso total

REVISIÓN POR CAPACIDAD DE CARGA

R.5.1 Si se tiene el peso total. Entonces se calcula el esfuerzo actuante: $\sigma_{act} = \frac{\text{peso total}}{b \times L}$

R.5.10 Si se tiene el esfuerzo actuante σ_{act} . Entonces se compara con el esfuerzo permisible σ_{Perm}

R.5.20 Si el esfuerzo actuante es mayor que el esfuerzo permisible. Entonces se propone una geometría mayor

**REVISIÓN POR SISMO**

R.6.1 Si el esfuerzo actuante es menor que el esfuerzo permisible. Entonces se revisa por sismo
R.6.10 Si se revisa por sismo. Entonces se calcula la fuerza cortante
R.6.20 Si se calcula la fuerza cortante. Entonces se multiplica el coeficiente sísmico por el factor de importancia
R.6.30 Si se tiene el coeficiente sísmico afectado por el factor de importancia. Entonces la fuerza cortante es: $V = (\text{peso del equipo}) \times (\text{coeficiente sísmico afectado por el factor de importancia})$
R.6.40 Si se tiene la fuerza cortante. Entonces se calcula el momento como: $M = (\text{fuerza cortante}) \times (\text{altura al eje de rotación} + d)$
R.6.50 Si se tiene el momento. Entonces se calcula el módulo de sección S : $S = \frac{L \times b^2}{6}$
R.6.60 Si se tiene el módulo de sección. Entonces se calcula el esfuerzo actuante por sismo $\sigma_{\text{act x sismo}}$ $\sigma_{\text{act x sismo}} = \left(\frac{W_{\text{CLIM}} + W_E}{b \times L} + \frac{M}{S} \right) \times F.C$
R.6.70 Si se tiene el $\sigma_{\text{act x sismo}}$. Entonces se compara con el esfuerzo permisible
R.6.80 Si el $\sigma_{\text{act x sismo}}$ es mayor que el esfuerzo permisible. Entonces se propone una geometría mayor
R.6.90 Si el $\sigma_{\text{act x sismo}}$ es menor que el esfuerzo permisible. Entonces se acepta la sección

DISEÑO FINAL

R.8.1 Si se quiere realizar el diseño final (todas las dimensiones deben estar en cm). Entonces se debe calcular la cuantía de acero: $a_s = \frac{660 \times d}{f_y (d + 100)} (\text{cm}^2/\text{cm})$
R.8.10 Si se tiene la cuantía de acero. Entonces se calcula el refuerzo en el sentido largo: $a_s \times b \times 1.5$
R.8.20 Si se tiene el refuerzo en el sentido largo. Entonces se elige un número de varilla
R.8.30 Si se tiene un número de varilla #. Entonces se obtiene el número de varillas: $N_{\text{sentido largo}} = \frac{a_s}{\text{área de la varilla elegida}}$
R.8.40 Si se tiene el número de varillas. Entonces se calcula la separación: $\text{Sep} = \frac{b}{N}$
R.8.50 Si la separación es mayor de 20cm. Entonces se elige otro número de varilla #
R.8.60 Si la separación es de entre 15 a 20 cm. Entonces se calcula el refuerzo en el sentido corto $a_s \times L \times 1.5$



R.8.70 Si se tiene el refuerzo en el sentido corto. Entonces se toma el número de varilla #
R.8.80 Si se tiene el número de varilla #. Entonces se obtiene el número de varillas: $N_{\text{sentido corto}} = \frac{a_s}{\text{área de la varilla \#}}$
R.8.90 Si se tiene el número de varillas. Entonces se calcula la separación: $\text{Sep} = \frac{L}{N}$
R.8.100 Si la separación es mayor de 20cm. Entonces se elige otro número de varilla # desde el sentido largo
R.8.110 Si la separación es de entre 15 a 20 cm. Entonces se dibujan los cortes para visualizar el armado
R.8.120 Si se dibuja el corte longitudinal A-A'. Entonces se dibuja el bloque con L y d
R.8.130 Si se dibuja el corte longitudinal A-A'. Entonces dibujan las varillas del sentido largo, de los lechos inferior y superior, con un recubrimiento esquemático hacia las caras del bloque
R.8.140 Si se dibujan las varillas del sentido largo. Entonces se dibujan con un gancho a 90° con una longitud hasta que lleguen al paño de la varilla del lecho opuesto,
R.8.150 Si se dibujan las varillas del sentido largo. Entonces se les señala con el numero de varilla, el número de ellas y su separación.
R.8.160 Si se dibujan las varillas del sentido corto. Entonces se dibujan de punta en número representativo, por lo menos una en cada esquina, y se indica el corte transversal B-B'
R.8.170 Si se dibujan las varillas del sentido corto. Entonces se les señala con el numero de varilla, el número de ellas y su separación.
R.8.180 Si se dibuja el corte transversal B-B'. Entonces se dibuja el bloque con b y d
R.8.190 Si se dibuja el corte transversal B-B'. Entonces dibujan las varillas del sentido corto, de los lechos inferior y superior, con un recubrimiento esquemático hacia las caras del bloque
R.8.200 Si se dibujan las varillas del sentido corto. Entonces se dibujan con un gancho a 90° con una longitud hasta que lleguen al paño de la varilla del lecho opuesto,
R.8.210 Si se dibujan las varillas del sentido corto. Entonces se les señala con el numero de varilla, el número de ellas y su separación.
R.8.220 Si se dibujan las varillas del sentido largo. Entonces se dibujan de punta en número representativo, por lo menos una en cada esquina
R.8.230 Si se dibujan las varillas del sentido largo. Entonces se les señala con el numero de varilla, el número de ellas y su separación.



CUANTIFICACIÓN

R.9.1 Si cuantificamos trazo y nivelación. Entonces se aumenta b y L, 50cm en ambos sentidos para maniobras: $(b+ 1.0m) \times (L+ 1.0m)$
R.9.10. Si cuantificamos excavación. Entonces tomamos la misma área que para trazo y nivelación y la multiplicamos por la profundidad de desplante df + el espesor de la plantilla: $E = (b+ 1.0m) \times (L+ 1.0m) \times (df + \text{espesor de la plantilla})$
R.9.20. Si cuantificamos el relleno. Entonces calculamos el volumen ocupado por el bloque: $[b \times L \times (df + 0.05cm)]$; Relleno = $E - [(b \times L \times df + 0.05cm)]$
R.9.30. Si cuantificamos traspaleo. Entonces calculamos: $T = (E - \text{Relleno}) \times \text{coef. Abundamiento}$
R.9.40. Si cuantificamos acarreo en carretilla hasta 50m. Entonces: acarreo = T
R.9.50. Si cuantificamos carga y acarreo 1er km, en camión: Entonces: Carga y acarreo, 1er km = T
R.9.60. Si cuantificamos carga y acarreo, kms subsecuentes. Entonces: Carga y acarreo, kms subsecuentes = T
R.9.70. Si cuantificamos elaboración de concreto para plantilla. Entonces aumentamos a b y L, 20cm en ambos sentidos: $(b+ 0.40m) \times (L+0.40m) \times 0.05m$
R.9.80 Si cuantificamos elaboración de concreto para bloque. Entonces: $(b) \times (L) \times (d)$.
R.9.90 Si cuantificamos vaciado con botes en plantilla de 5cm. Entonces: $(b+ 0.40m) \times (L+0.40m)$.
R.9.100 Si cuantificamos vaciado con botes en bloque. Entonces: $(b) \times (L) \times (d)$.
R.9.110 Si cuantificamos cimbra en reglas y fronteras. Entonces calculamos el perímetro $P= 2(b)+2(L)$. Cimbra = $P \times d$
R.9.120. Si cuantificamos habilitado y colocación de acero de refuerzo: Entonces :ml de Acero de refuerzo = $N_{\text{sentido largo}} \{[(L)-(2 \times 0.05m)] + 2[d-(2 \times 0.05)]\} + N_{\text{sentido corto}} \{[(b)-(2 \times 0.05m)] + 2[d-(2 \times 0.05)]\}$
R.9.130. Si tenemos la cantidad ml de acero de refuerzo. Entonces :Cant. Acero de refuerzo = ml x peso por metro lineal del número de varilla.
R.9.140 Si cuantificamos la junta de expansión. Entonces :Junta de expansión = P
R.9.150 Si cuantificamos elaboración y colocación de grout con espesor 2.5cm Entonces : $(b_p \times L_p \times 0.025m) \times 1000$
R.9.160 Si cuantificamos la cantidad de pernos y su longitud. Entonces :Cantidad de pernos = Número de pernos. Longitud del perno = $R + 0.025 + \text{espesor de la placa} + ct$
R.9.170 Si cuantificamos la limpieza general. Entonces :



4.4.4. Motor de inferencia

Como ya se había dicho en el subtema 2.4.7. el motor de inferencia de CIMEQ es el que ubica los conocimientos e infiere nuevos usando la base de conocimientos, este motor esta conformado en lenguaje PROLOG.

Para el caso de CIMEQ la estrategia de búsqueda empleada para producir el conocimiento o las respuestas buscadas es el encadenamiento hacia atrás (Backward Chaining), el cuál es un proceso de razonamiento o de búsqueda descendente que parte de un objetivo (hipótesis o conclusión) deseado y trabaja hacia atrás en dirección a las condiciones preestablecidas, es decir que dicho proceso inicia teniendo los objetivos deseados claramente establecidos y trabaja hacia atrás en búsqueda de las reglas o el conocimiento que pruebe o valide dicho objetivo. Las condiciones de las reglas aplicadas pasan a ser los nuevos objetivos que deben ser demostrados y el proceso se ejecuta hasta que todos los objetivos hayan sido demostrados (ÉXITO), o bien cuando ya no hay reglas aplicables (FRACASO).

Para mayor claridad explicaremos un sector de las reglas de producción para entender el funcionamiento del motor de inferencia. El sector elegido corresponde de la regla R.1.10 hasta la regla R.1.190, las cuales son un extracto de la parte del diseño con datos incompletos, este intervalo de reglas corresponde a la toma de decisiones que CIMEQ efectúa para fijar las condiciones y características iniciales mínimas del equipo con las cuales es capaz de realizar un diseño:

R.1.10.	if 1 ton <= equipo <= 10 ton then equipo = pequeño.endif.
R.1.20.	if 11 ton <= equipo <= 15 ton then equipo = mediano.endif
R.1.30.	if equipo > 15 ton then equipo = grande.endif
R.1.40	if equipo = pequeño then agujero = 1/2".endif.
R.1.50	if equipo = pequeño then pernos = 4.endif.
R.1.60	if equipo = pequeño then altura al eje = 40 cm.endif.
R.1.70	if equipo = mediano then agujero = 1".endif.
R.1.80	if equipo = mediano then pernos = 6.endif
R.1.90	if equipo = mediano then altura al eje = 60 cm.endif.
R.1.100	if equipo = grande then agujero = 1 1/2".endif.
R.1.110	if equipo = grande then pernos = 8.endif
R.1.120	if equipo = grande then altura al eje = 80 cm.endif



A manera de ejemplo suponemos que solo sabemos que nuestro equipo es mediano, así en nuestra ventana principal elegimos que se trata de un diseño con datos incompletos y que es un equipo mediano, el motor adopta como objetivo inicial el equipo mediano y comienza la búsqueda hacia atrás buscando todas aquellas reglas que validen el objetivo inicial "equipo mediano", así CIMEQ infiere que si se trata de un equipo mediano, este presenta un peso de entre 11 y 15 toneladas, que el diámetro de sus barrenos es de 1", que tiene 6 pemos y que la altura a su eje de rotación es de 60cm; estas conclusiones pasan ahora a ser los nuevos objetivos que deben ser validados o demostrados mediante el mismo mecanismo.

Estas características ahora representan datos conocidos, con los cuales CIMEQ estará en posibilidad de continuar con el encadenamiento y completar el diseño.

4.4.5. Módulo de explicación

El término "explicación" resulta tal vez muy ambicioso, sin embargo para nuestro caso se adoptó este término porque representa precisamente la finalidad o el objetivo que buscamos con la implantación futura de este módulo, al igual que la retroalimentación de experiencia dentro del sistema, el módulo de explicación esta considerado dentro de la segunda etapa de desarrollo de CIMEQ, el módulo de explicación es aquel que después de realizado un diseño es capaz de presentarnos todas y cada una de las reglas que fueron utilizadas para llevarlo a cabo, este módulo es el intento de que CIMEQ pueda explicar sus inferencias, cuales utilizó y porqué. Mencionaremos de manera teórica como esta concebido que CIMEQ realice esta actividad:

Durante la realización de un prediseño, CIMEQ guardará las reglas que van siendo utilizadas en un archivo temporal tipo ASCII, el cuál es un archivo de solo texto que puede ser llamado en cualquier instante, ya sea durante el diseño o al final de este, así el usuario puede conocer que criterios se están siguiendo o cuales se siguieron en la resolución de un problema.

A manera de ejemplo retomaremos el caso del subtema anterior, el cual corresponde a un diseño basado en datos incompletos, donde solo sabemos que el equipo es mediano, CIMEQ infiere que presenta un peso de entre 11 y 15 toneladas, que el diámetro de sus barrenos es de 1", que tiene 6 pemos y que la altura a su eje de rotación es de 60cm.



Si nosotros en este momento decidiéramos llamar al módulo de explicación para saber que reglas se utilizaron, el módulo nos presentaría lo siguiente:

R.1.20.	if 11 ton <= equipo <= 15 ton then equipo = mediano.endif
R.1.70	if equipo = mediano then agujero = 1".endif.
R.1.80	if equipo = mediano then pemos = 6.endif
R.1.90	if equipo = mediano then altura al eje = 60 cm.endif.

Cabe mencionar que este archivo se llama temporal porque una vez iniciado otro diseño este se borrará automáticamente para recibir las reglas correspondientes al mismo.

4.5. EMISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO

La memoria de cálculo es el documento donde se representan los resultados del diseño, y CIMEQ por si solo es capaz de crear un documento "base" por medio de variables, dicho documento contiene los resultados del diseño, es decir, cada vez que CIMEQ realiza un prediseño, los resultados son asignados a variables previamente establecidas, así, el sistema genera un listado de variables globales cuyo valor previamente asignado es el que aparece en el documento base.

La obtención de la memoria de cálculo como documento se logró mediante la creación previa de una plantilla en un procesador de texto con el formato preestablecido (ver anexo 2) y con los campos listos para recibir la información contenida en el documento base; una vez que CIMEQ llama al procesador de texto, una macro es la que se encarga de transferir a la plantilla todos los datos y la información que la memoria de cálculo debe contener. La memoria de cálculo como documento es almacenada en un archivo de carácter temporal el cuál puede ser impreso o guardado, una vez iniciado otro diseño este archivo es borrado automáticamente quedando listo para recibir una nueva llamada.

4.6. VOLUMEN DE OBRA

Como se había dicho anteriormente, esta actividad representa la cuantificación de todos los materiales que intervienen en el diseño, el sistema es capaz de emitir solo una lista de todos los conceptos de obra involucrados pero no así de los números generadores, la información esta



de acuerdo con los requerimientos y procedimientos de trabajo del departamento de Ingeniería civil concreto, del I M P, en lo correspondiente al cálculo de volumen de obra. Ver subcapítulo 3.9.

4.7. METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN

CIMEQ es capaz, una vez terminado el prediseño de efectuar las operaciones aritméticas correspondientes para obtener los volúmenes necesarios, cabe hacer mención que esta propiedad mantiene una relación estrecha con el documento base para la creación de la memoria de cálculo de la cimentación, ya que por ejemplo, es ahí donde obtiene los valores necesarios generados por el prediseño realizado por CIMEQ, como son las dimensiones finales del bloque, o las propiedades geométricas del perno utilizado etc..

De manera similar a la emisión de la memoria de cálculo, CIMEQ por si solo es capaz de crear otro documento "base" por medio de variables, dicho documento contiene los resultados de la cuantificación, es decir, cada vez que CIMEQ realiza un prediseño, los resultados de la cuantificación son asignados a variables previamente establecidas, así, el sistema genera un listado de variables globales cuyo valor previamente asignado es el que aparece en el documento base.

Como se mencionó anteriormente, una vez terminado el prediseño, el sistema genera el volumen de obra, el cuál es emitido gracias a una liga existente entre el sistema y un procesador de texto, el cuál esta previamente cargado mediante una plantilla con los conceptos correspondientes, una vez que la cuantificación esta terminada, el procesador de texto recibe la información por medio de una macro interna, y las cantidades de obra del catalogo de conceptos son llenadas automáticamente (ver tabla 3.1)



4.8. INTERFAZ DE USUARIO

En este subcapítulo presentamos una descripción breve de la interfaz de usuario de CIMEQ, así como de las ventanas principales que la conforman y una explicación de los pasos a seguir para utilizar correctamente todas las herramientas ofrecidas por CIMEQ.

4.8.1. Ventana principal

A continuación se muestra la ventana principal de ingreso de datos:

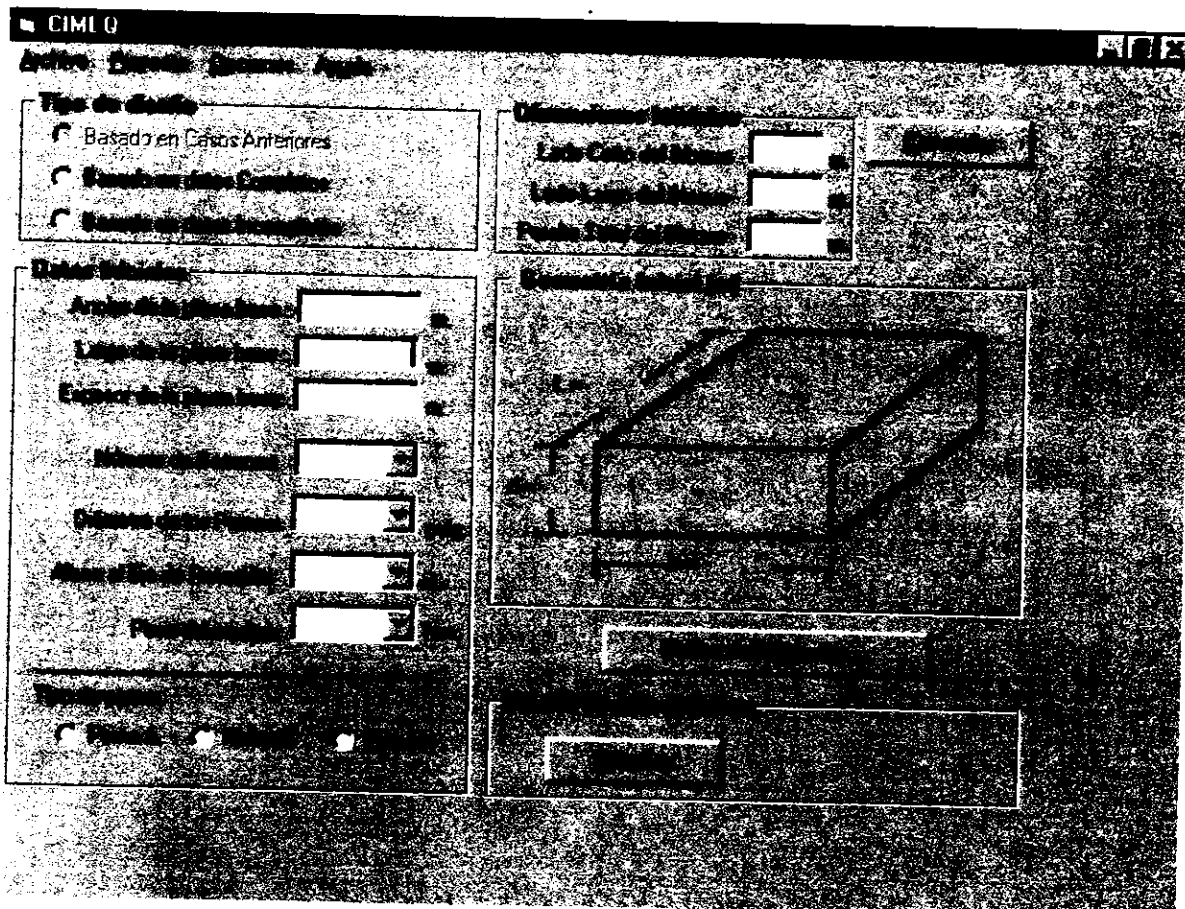


Fig. 4.3. Ventana Principal

Como podemos observar, la ventana principal consta de una barra de menú dentro de la cual se encuentran los menús de Archivo, Proyecto, Opciones y Ayuda. El menú Archivo despliega principalmente los comandos tradicionales que permiten "abrir" un prediseño guardado



previamente, "guardar" un prediseño realizado, "guardar como" un prediseño con un nombre determinado y "salir" del sistema. El menú Proyecto presenta una ventana que nos permite introducir algunos datos necesarios para formalizar el prediseño, como lo es el número de contrato al que pertenece el trabajo, el nombre del proyecto, el nombre de la persona que lo realizó y la fecha de elaboración. El menú Opciones nos permite cambiar el nombre del directorio de trabajo y guardar los trabajos realizados dentro de un directorio ajeno al directorio donde esta instalado CIMEQ. El menú Ayuda despliega los accesos: "Introducción a la ayuda" que nos indica de que nos puede servir la ayuda prevista en CIMEQ; "Contenido" que es una manera más esquemática de acceder al tópico que nos interesa, y "Acerca de CIMEQ" que representa por así decirlo los créditos del programa.

Dentro del campo de la ventana principal se observa una parte donde se debe especificar el tipo de prediseño que se quiere realizar, ya sea "Basado en datos completos" o en incompletos, como se menciono anteriormente, si se elige la opción con datos incompletos CIMEQ propondrá los valores pertinentes de acuerdo al peso del equipo elegido mediante una ventana secundaria; estos valores serán anotados automáticamente dentro del apartado "Datos iniciales", por otra parte si se elige la opción basado en datos completos, el apartado "Datos iniciales" permanecerá en blanco listo para recibir los datos provenientes del usuario, cabe aclarar que cualquiera de los valores anotados en "Datos iniciales" puede ser cambiado en cualquier momento por el usuario sin importar la opción inicial elegida.

Una vez que el apartado de "Datos iniciales" esta completo, CIMEQ trabaja para obtener los valores de las dimensiones iniciales mínimas para realizar un prediseño, posteriormente, de manera automática CIMEQ llena el apartado "Dimensiones iniciales", así como el esquema "Geometría inicial". Una vez realizado lo anterior, se debe pulsar el comando "Datos Adicionales", el cuál llamará a la ventana del mismo nombre, misma que es explicada a continuación:



4.8.2. Ventana de Datos Adicionales

CIMEQ Archivo Proyecto Opciones Ayuda

Tipo de diseño: Basado en Casos Anteriores Datos adicionales Reglamentación

Dimensiones iniciales: Lado Cero del Bloque: Cancelar

Datos:

Resistencia de los Materiales:

An: Concreto (Fc) Bloque kg/cm²

L: Placa kg/cm²

Ep: Peso volumétrico ton/m³

Acero (fy): kg/cm²

Datos del Suelo:

Alta: Capacidad de Carga T/m²

Peso T/m³

Niveles:

Nivel Frotisco N.F. m

Nivel de Tenencia Natural N.T.N. m

Nivel de Piso Terminado N.P.T. m

Nivel de Carpeta M.B. m

Nivel de Succión m

Nivel de Desplante m

Profundidad de desplante m

Tipo: Factor para referencia (por contacto con el suelo): Aceptar Cancelar

Fig. 4.4. Ventana de Datos Adicionales

Como se observa, esta ventana también consta de una barra de menú, en donde solo aparece el menú "Reglamentación" el cual es la ruta de acceso para elegir el tipo de reglamento a utilizar, para el cálculo del coeficiente sísmico, ya sea CFE o Reglamento de construcciones para el D.F. con sus Normas técnicas complementarias correspondientes. Una vez establecida la normatividad a seguir, vemos tres apartados: "Resistencia de los materiales" en donde se deben establecer la resistencia del concreto, su peso volumétrico, y el límite de fluencia del acero; "Datos del suelo", donde debemos establecer la capacidad de carga del terreno y su peso volumétrico (no necesario para llevar a cabo el prediseño), y por último el apartado "Niveles" en donde se precisan los niveles de referencia y la profundidad de desplante del bloque de cimentación, cabe hacer la aclaración de que los niveles de referencia no son necesarios para llevar a cabo el prediseño, sin



embargo fueron incluidos, para que cuando se de el caso de contar con ellos, sean incluidos en este apartado y considerados en la memoria de calculo, de darse el caso de no contar con estos datos, en la memoria de cálculo aparecerán en blanco.

Al final aparece un espacio determinado para ingresar el valor del factor para refuerzo (por ser una cimentación y estar en contacto con el terreno). En esta ventana CIMEQ asumirá los valores tradicionales del apartado "Resistencia de los Materiales" así como el valor de 1.5 de factor para refuerzo estipulado en las normas correspondientes; cabe aclarar que cualquiera de los valores anotados en esta ventana puede ser cambiado en cualquier momento por el usuario.

Una vez que esta ventana de "Datos adicionales" cuenta con los datos mínimos, se debe pulsar el botón "Aceptar" , lo que nos regresara a la ventana principal, en donde podremos pulsar el botón "Diseñar".

4.8.3. Ventana de resultados

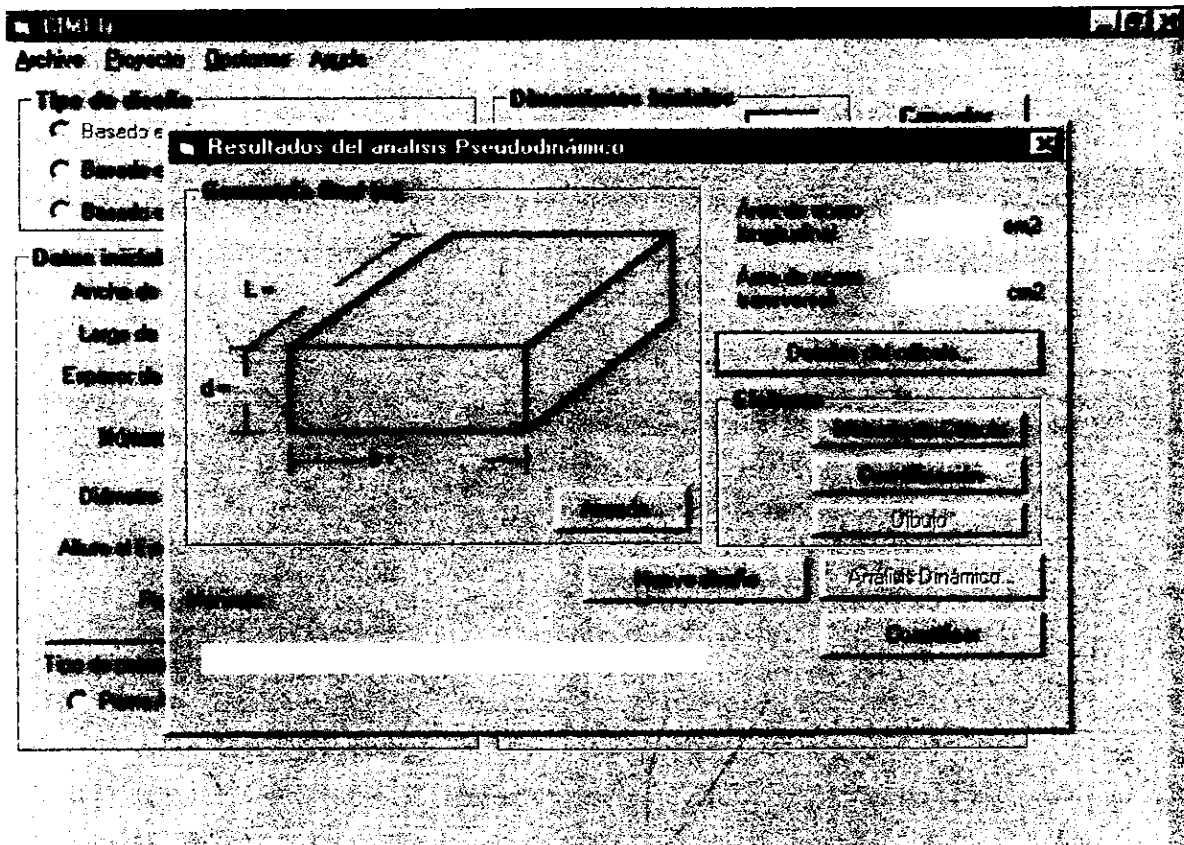


Fig. 4.5. Ventana de Resultados

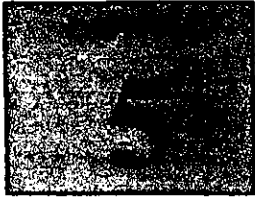


Una vez pulsado el botón "Diseñar", aparece la "Ventana de Resultados", en donde aparece el esquema "Geometría final" con los valores arrojados por el prediseño, si la geometría inicial fue insuficiente, el mensaje inferior lo informará; también aparecen los valores de las áreas de acero tanto longitudinal como transversal.

Esta ventana contiene además los botones: "Detalles de cálculo", que nos presentará además los valores en los cuales está basado el prediseño, como lo son el área de contacto, los esfuerzos actuantes y resistentes entre otros valores; "Armado", que nos presenta un corte transversal del bloque de cimentación indicando los armados con el número de varilla y su separación; "Nuevo Diseño", que nos regresa a la Ventana principal para ejecutar un nuevo diseño; "Análisis Dinámico", el cuál es un botón que en esta primera versión aún no esta activo y que en un futuro ejecutará el Análisis Dinámico del bloque de cimentación; y por último el botón "Cuantificar" que presenta los valores de la cuantificación de materiales referentes al bloque prediseñado, esta lista de materiales cuantificados es la especificada en la tabla Tabla 3.1. Catalogo de conceptos de obras de Pemex para cimentaciones de maquinaria

Esta ventana como podemos ver, también cuenta con un apartado llamado "Elaborar", que nos sirve para especificar qué documentos queremos que CIMEQ nos prepare, ya sea la memoria de cálculo, o la cuantificación, la opción "Dibujo" en esta etapa esta inactiva.

*Nota: Es necesario mencionar que todas las ventanas secundarias que no hemos presentado y de las cuales hemos hecho mención en este capítulo, serán presentadas en el capítulo correspondiente a la aplicación del sistema a un ejemplo práctico.



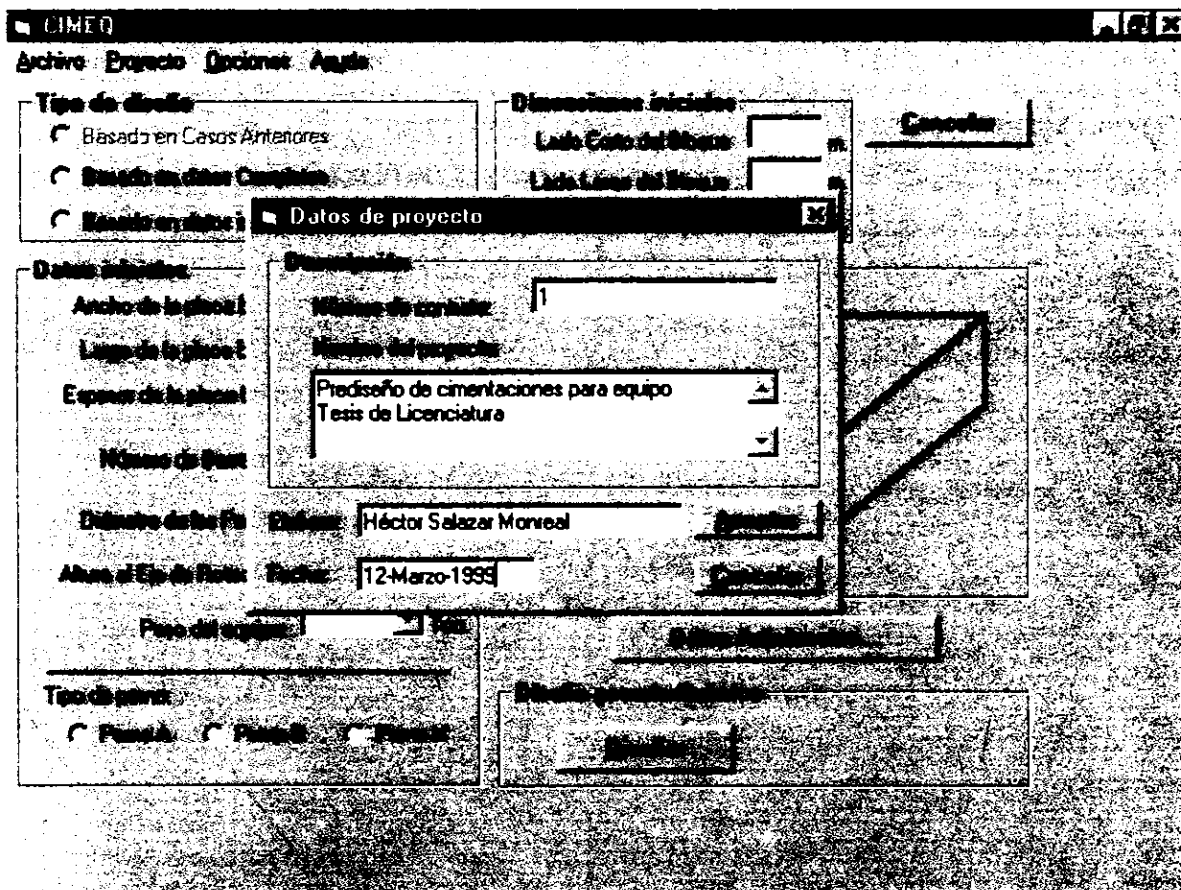
APLICACIONES

A continuación presentamos una aplicación práctica de CIMEQ, al resolver el mismo ejemplo presentado en el subcapítulo 3.7 (ver los datos del problema), los resultados se muestran por medio de las ventanas correspondientes.



5.1 Ventana principal

Como primer paso al iniciar un prediseño nuevo, debemos ingresar los datos del proyecto dentro de la ventana correspondiente en la barra del menú como se describe a continuación:



Cabe aclarar que los datos que aparecen en esta ventana son representativos únicamente; una vez que esta llena la ventana de datos iniciales pulsamos el botón "Aceptar" y regresamos a la ventana principal lista para el ingreso de datos iniciales:



CIMEQ

Archivo Proyecto Dimensiones Ayuda

Tipo de diseño

- Basado en Casos Anteriores
 Basado en datos Completos
 Basado en datos incompletos

Dimensiones iniciales

Lado Corto del Bloque m.
Lado Largo del Bloque m.
Peralte Total del Bloque m.

Comenzar

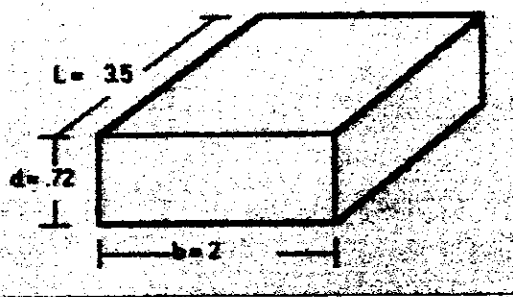
Datos iniciales

Ancho de la placa base: m.Largo de la placa base: m.Espesor de la placa base: m.Número de Barras: Diámetro de las Barras: pulg.Altura al Eje de Rotación: m.Peso del esqueleto: Ton.

Tipo de placa:

Plano A Plano B Plano H

Geometría Inicial (m).



Datos Adicionales

Bloque predefinido

Definir

Como vemos en esta ventana, el prediseño para el ejemplo presentado anteriormente se realizó basado en datos completos, una vez completos los datos iniciales, CIMEQ llenó el apartado "Dimensiones iniciales" y el esquema "Geometría inicial"; a continuación pulsamos el botón "Datos adicionales" y tenemos la ventana correspondiente para el ingreso de los datos concernientes a la resistencia de los materiales a utilizar y a los niveles que se nos presentan, también en esta ventana tenemos el menú reglamentación, el cuál nos da la opción de elegir el tipo de reglamento a utilizar, en nuestro caso elegimos C.F.E., las ventanas referentes a lo anterior se presentan a continuación:



5.2. Ventana de datos adicionales y ventana de reglamentación:

CIMEO Archivo Proyecto Opciones Ayuda

Tipo de diseño: Resid. en Casas Anteriores Diseños Iniciales Cancelar

Datos adicionales

Reglamentación

Datos		Resistencia de los Materiales		Niveles	
An	Concreto (f'c)	Slabas	250 kg/cm ²	Nivel Finitos N.F.	m.
Li		Planta	100 kg/cm ²	Nivel de Trazo Natural N.T.N.	m.
Esp	Peso volumétrico		24 ton/m ³	Nivel de Piso Terminado N.P.T.	m.
	Acero (f'y)		4200 kg/cm ²	Nivel de Barandilla N.B.	m.
				Nivel de Suelo	
				Nivel de Descarga	
Di	Datos del Suelo				
Alt	Capacidad de Carga	8 T/m ²		Profundidad de cimentación	0.50 m.
	Peso (γ)				
Tipod	Factor para reducir los contenidos de acero		1.5	Aceptar	Cancelar

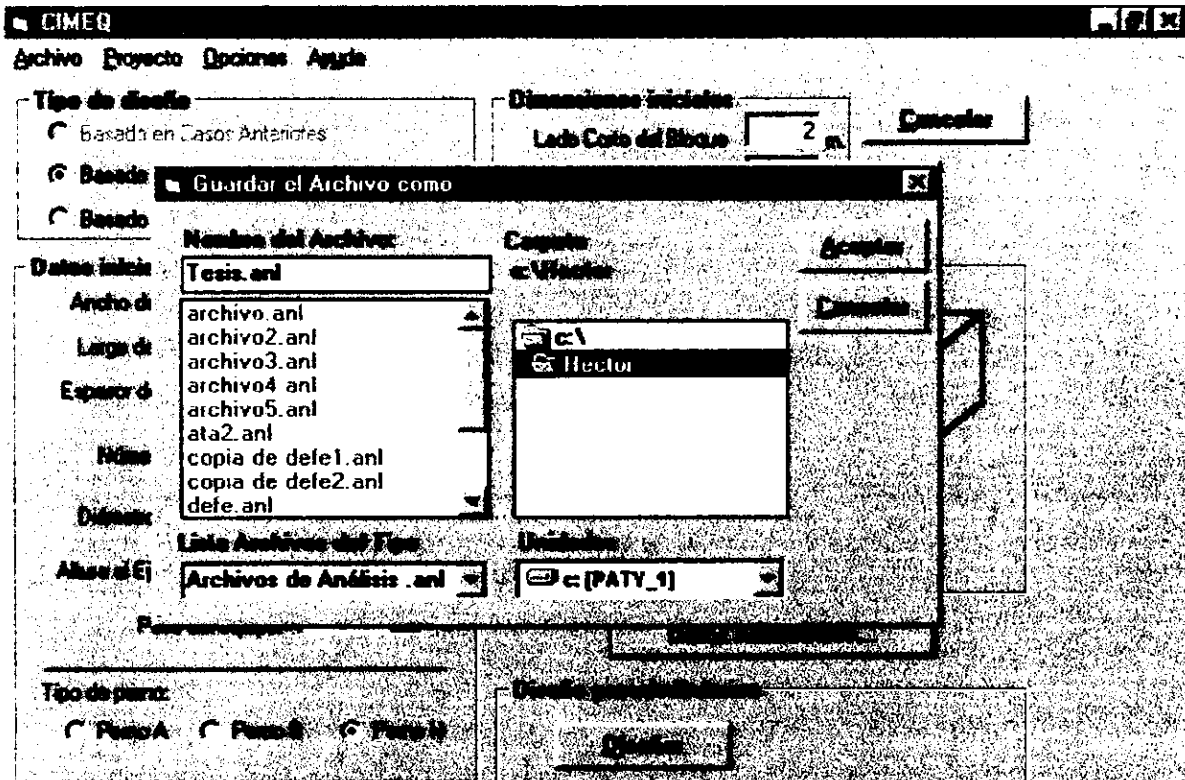
Datos adicionales

Reglamentación

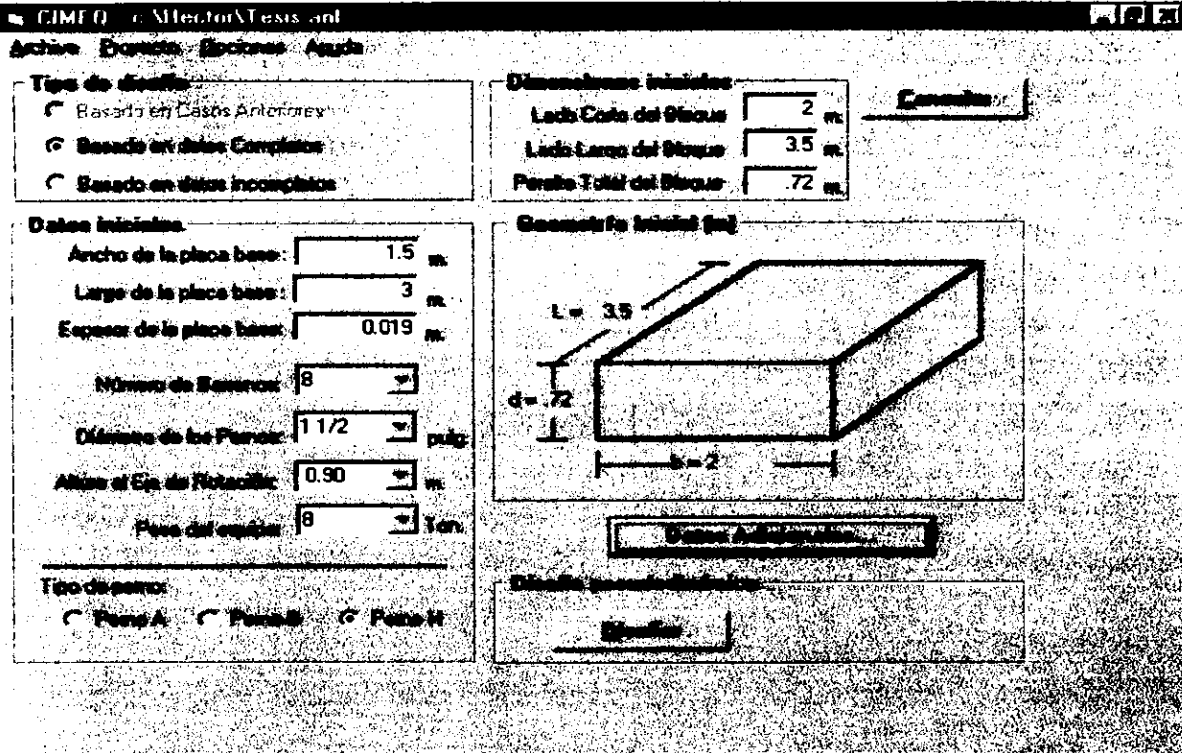
Resistencia de los Materiales		Niveles	
Concreto (f'c)	1.5	Nivel Finitos N.F.	8
Peso volumétrico	1.1	Nivel de Trazo Natural N.T.N.	II
Acero (f'y)	1.5	Nivel de Piso Terminado N.P.T.	45
Datos del Suelo		Nivel de Barandilla N.B.	
Capacidad de Carga		Nivel de Suelo	
Peso (γ)		Nivel de Descarga	
Factor para reducir los contenidos de acero	1.5		



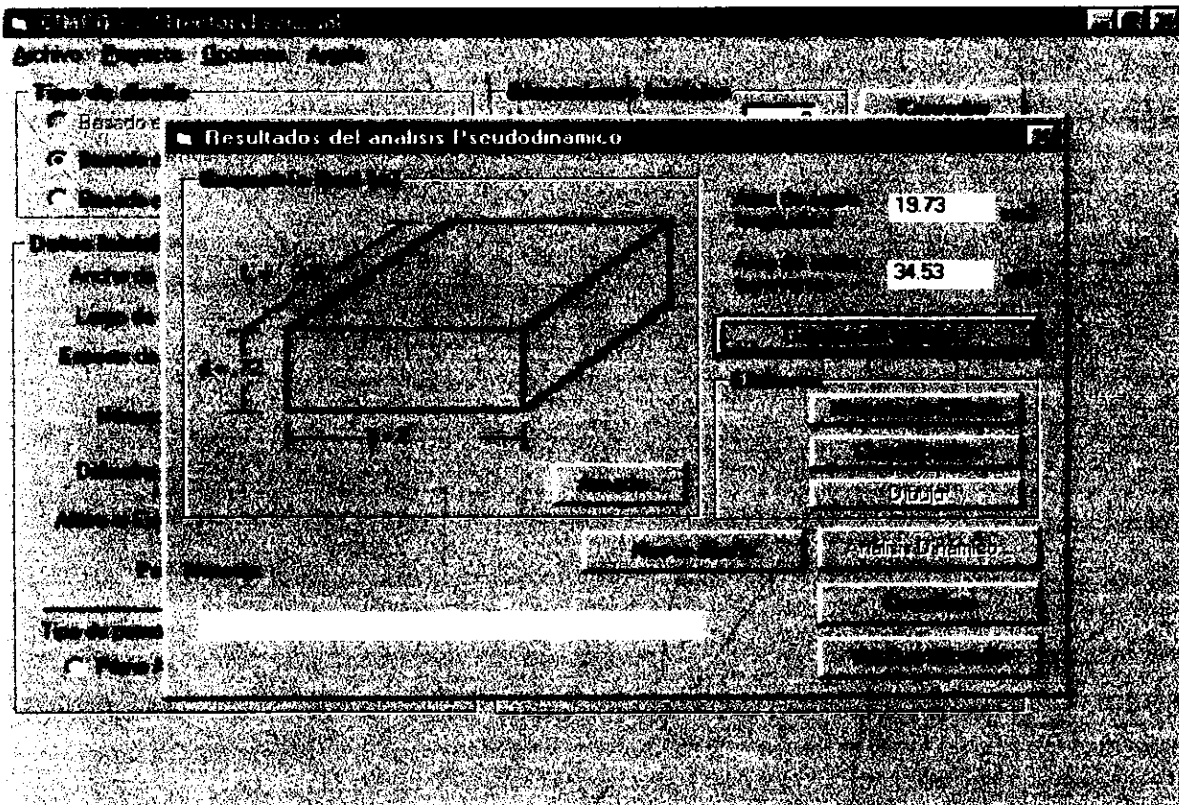
Una vez establecidos los datos adicionales y la reglamentación a utilizar, CIMEQ regresa a la ventana principal, en donde debemos darle nombre al prediseño, para ello debemos acceder al menú "Archivo" y con el comando "Guardar como" tenemos la siguiente ventana:



En este caso, el nombre adoptado para el prediseño es "Tesis", es importante destacar que en esta ventana se visualiza también la carpeta en la que será guardado el prediseño "Tesis". Una vez guardado el prediseño CIMEQ regresa a la ventana principal, en donde ya se esta en condiciones de pulsar el botón "Diseñar", es necesario visualizar que ahora la ventana principal, en su parte superior adopta el nombre del prediseño determinado anteriormente y la carpeta en la que fue guardado:



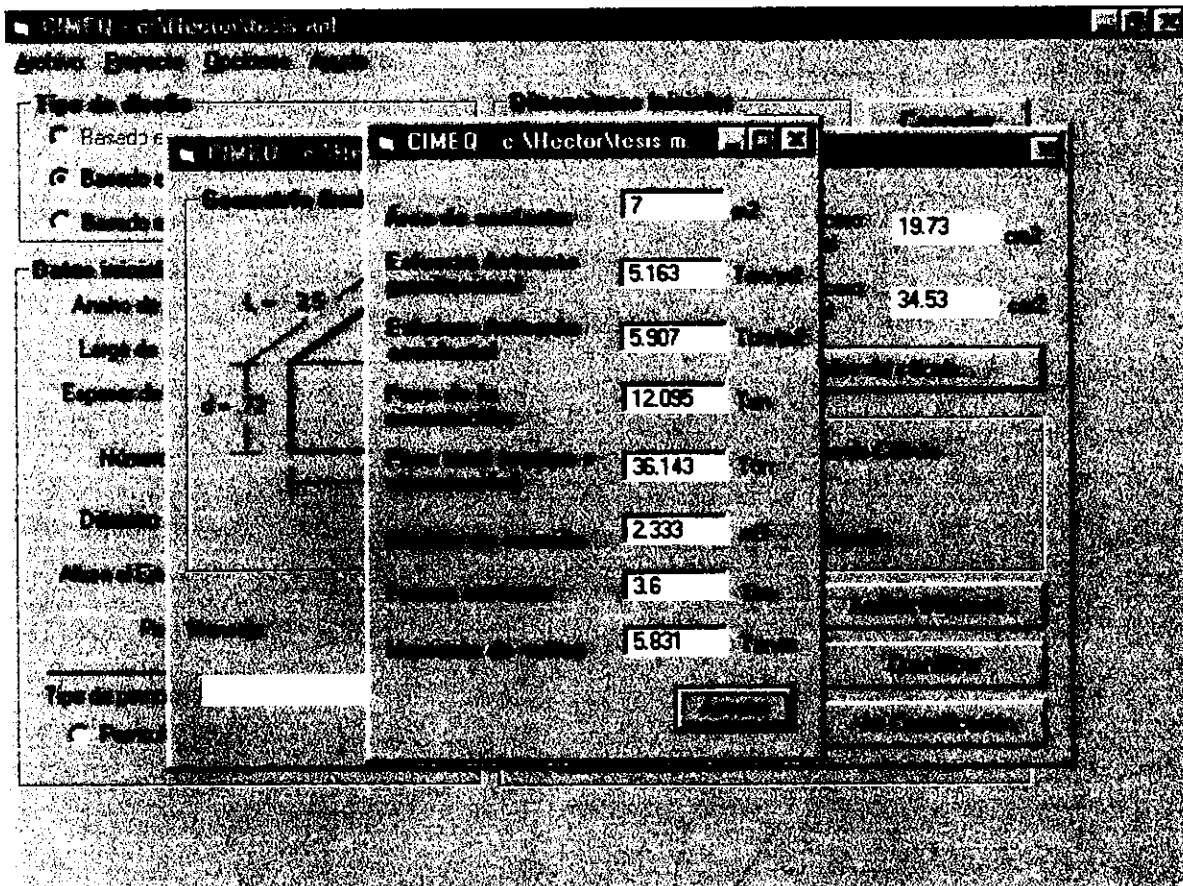
Al pulsar el botón "Diseñar", tenemos la ventana de resultados:



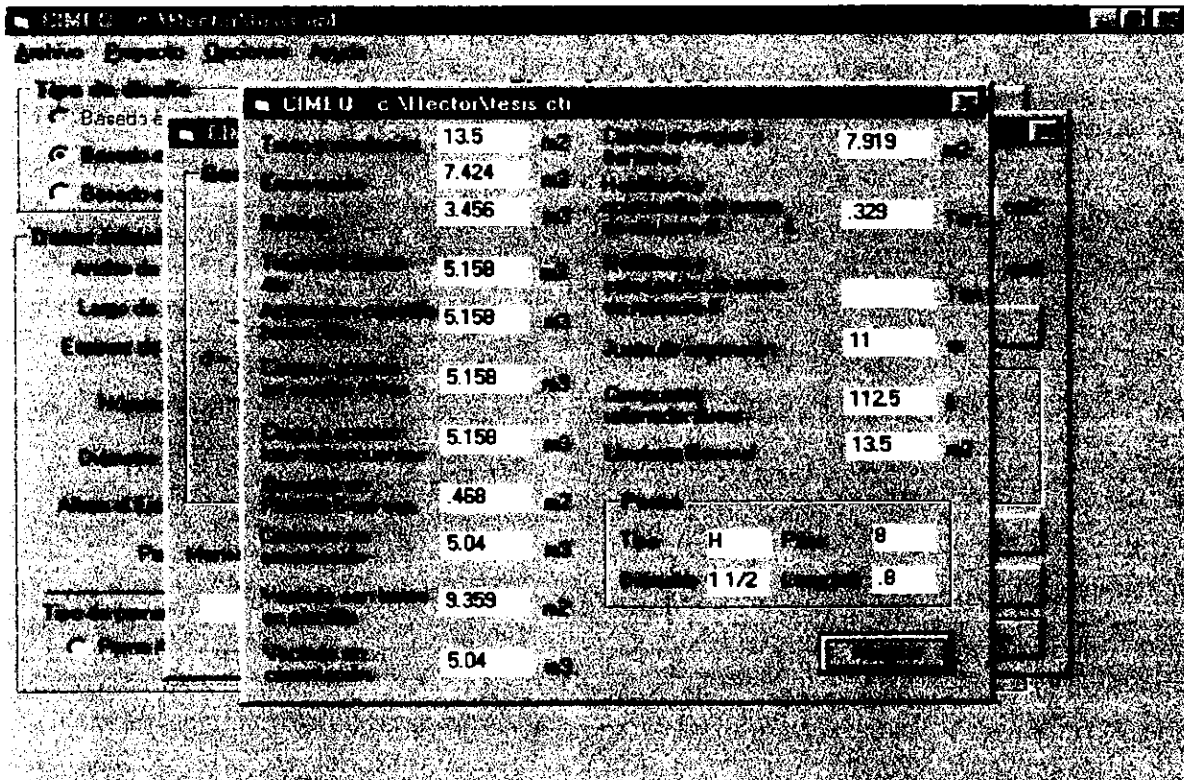
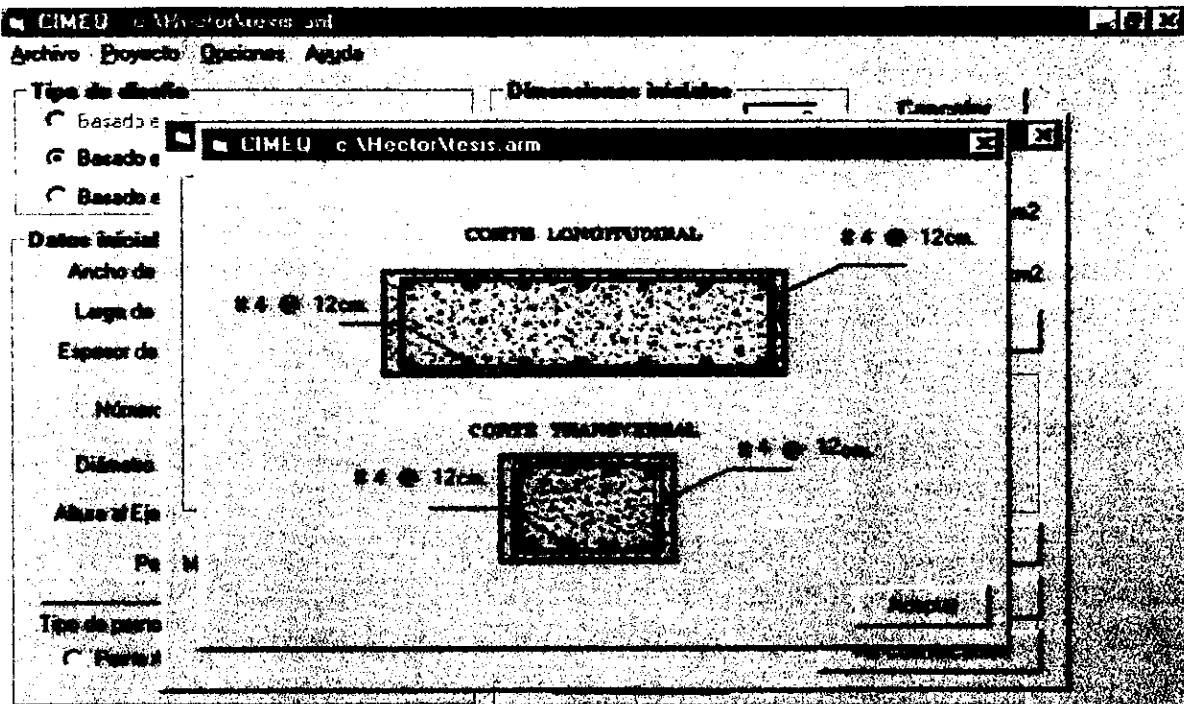


En esta ventana visualizamos los resultados del prediseño, tenemos un esquema con la "Geometría final" y las áreas de acero resultantes, como se ve, el mensaje permaneció en blanco, esto quiere decir que no fue necesario incrementar la geometría inicial; además tenemos el apartado de "Elaborar", donde elegimos los documentos que queremos que CIMEQ prepare: la memoria de cálculo, o la cuantificación.

Si queremos ver los detalles de cálculo, como el área de contacto con el terreno, los esfuerzos actuantes, el peso total de la cimentación, la fuerza cortante debida al sismo, el momento de volteo generado por esa misma fuerza, o el módulo de sección del bloque de cimentación, pulsamos el botón correspondiente, y tenemos la ventana de detalles que se muestra a continuación:



También desde la ventana de resultados, podemos obtener las ventanas de "Armado", que nos muestra los cortes del bloque de cimentación con sus armados respectivos, y la de "Volumen de obra", ambas ventanas se muestran a continuación:





Como se observa, existen pequeñas diferencias entre los valores obtenidos con CIMEQ, y los obtenidos sin el programa, sin embargo estas variantes residen en la diferencia en el manejo de cifras decimales y redondeos.

CONCLUSIONES

El valor potencial de la IA, tal vez pueda entenderse mejor por contraste con el uso de la inteligencia y la experiencia humanas, este contraste permitirá responder como conclusión a la pregunta que muchos se hacen de ¿por qué desarrollar la IA en vez de usar a un experto humano?, se puede decir de manera general que existen algunas razones para usar la IA en la mejora de las capacidades humanas.

Entre otras razones están las siguientes: La inteligencia y experiencia artificial permanece, es fácil de transferir o reproducir, además de que produce resultados más consistentes que los expertos humanos, es decir se evita un comportamiento errático; es fácil de documentar, documentar la experiencia humana es difícil y consumidora de tiempo, incluso un experto humano puede llegar a una conclusión, y posteriormente ser incapaz de recrear y razonar acerca del proceso que le condujo a dicha conclusión; la IA tiene un coste relativamente reducido en comparación con el que requiere un experto humano para su formación, no solo por el tiempo que necesitan para ello sino porque deben disponer de otros expertos que participen en su formación, aunque la IA puede ser costosa de desarrollar es muy económica de operar; los expertos humanos no se pueden duplicar fácilmente, lo más cercano a esto es el hecho de que pueden difundir sus conocimientos a través de libros, conferencias etc..

Estas razones pudieran dar a entender que todo son ventajas en el uso de la IA, lo cual es incorrecto, por consiguiente y para presentar un cuadro más equilibrado y ajustado a la realidad, se darán algunas razones por las cuales los expertos humanos no pueden ser reemplazados por la IA.

Entre otras razones están las siguientes: los expertos humanos son creativos e imaginativos, pueden reorganizar sus ideas e informaciones empleando enfoques nuevos, y utilizarlos para producir nuevos conocimientos, aún bajo sucesos inesperados, mientras que la IA se comporta de manera rutinaria; los expertos humanos son capaces de aprender y adaptarse a condiciones cambiantes, mientras que los expertos artificiales han tenido muy poco éxito en imitar esta capacidad; tienen calidez en el trato y pueden beneficiarse y usar directamente la experiencia sensorial; poseen lo que se denomina sentido común, estos conocimientos son de carácter general acerca del mundo y cómo funciona, todas las personas lo tienen y lo usan de modo efectivo, y hoy por hoy no existe un modo efectivo de incorporarlo a la IA; los expertos humanos pueden adquirir nuevos conocimientos y perfeccionar los existentes de una manera relativamente fácil y natural, por la experiencia, por el trato con otros expertos, por el intercambio de conocimientos etc., además de que los límites del saber teóricamente no existen

Ahora bien, el valor de la IA en su vertiente aplicada a los SE, y para nuestro caso en lo concerniente a CIMEQ, podemos decir de manera directa lo siguiente: CIMEQ posee un conocimiento explícito, accesible y expansible, podemos encontrar en él una gran similitud con los procesos de razonamiento utilizados por los expertos, la base de conocimientos de CIMEQ puede ser desarrollada gradualmente de acuerdo con las necesidades que se presenten ya que tiene la característica de ser modular, lo cual permite un crecimiento y un refinamiento continuo; como CIMEQ es un sistema basado en reglas, cualquiera de ellas puede ser eliminada, o nuevas reglas pueden ser incorporadas de manera independiente, CIMEQ estará listo para usarse sin ninguna otra modificación, además de que esta producido para interactuar con el usuario en una interfaz sumamente amigable y entendible; y algo de lo más importante, CIMEQ puede trabajar a partir de datos incompletos. De manera indirecta, el desarrollo de CIMEQ aporta las siguientes ventajas: mejora y estandariza la calidad del servicio obtenido y los datos producidos dando el seguimiento necesario a los procedimientos de trabajo establecidos; reduce el tiempo y el costo necesario para proporcionar dichos servicios u obtener los resultados requeridos en relación con la manera tradicional de trabajar; libera tiempo del experto para dedicarlo a actividades menos rutinarias; reduce el tiempo de entrenamiento de nuevos expertos; permite a empleados menos experimentados asumir mayores responsabilidades, además, CIMEQ aporta las bases necesarias para el desarrollo futuro de diversos SE que sean utilizables como reemplazo parcial del experto o como soporte para una aplicación.

Sin embargo CIMEQ también tiene sus limitaciones al igual que todos los SE existentes, les falta sentido común y no son adecuados para aquellos problemas que involucran procesos de inducción o analogía, y CIMEQ por tratarse de un sistema híbrido en cuanto a su conformación (ya que como se había mencionado anteriormente consta de tres diferentes partes), presenta algunas limitaciones que serán rebasadas posteriormente: no realiza aún el análisis dinámico de la cimentación, ni la emisión de planos, su mecanismo de inferencia no esta dotado de aprender y retroalimentarse; además de que para esta primera etapa aún esta en desarrollo su módulo de explicación, sin embargo a pesar de todo lo anterior, y con las herramientas que se tuvieron disponibles se lograron plenamente los objetivos establecidos inicialmente.

De todo lo anteriormente expuesto podemos decir que en un tiempo relativamente corto se llegará al desarrollo de nuevas herramientas que rebasen las limitantes actuales y por consiguiente, se obtendrán Sistemas Expertos mucho más completos y poderosos, dándose una mayor aceptación y aplicación de máquinas y sistemas mucho más inteligentes y sofisticadas. No hay nada inhumano en la máquina inteligente, en realidad se trata de una expresión soberbia de capacidad intelectual que hoy poseen solamente los seres humanos, de entre todos los seres humanos de nuestro planeta.

Para terminar, nos permitiremos remarcar la importancia del diseño estructural, el cuál, adherido a las tecnologías actuales en Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos, deberá continuar su desarrollo, estimulando el espíritu creativo del ingeniero, para seguir descubriendo nuevos horizontes y posibilidades dentro de la ingeniería.

BIBLIOGRAFIA

ADELI H.

“Expert Systems in Construction and Structural Engineering”

Ed. Chapman and Hall.

CARRICO M. A., GIRARD J. and JONES J.

“Building Knowledge Systems : Developing and managinh Rule Based Applications”

Ed. McGraw Hill.

RICH E. and KNIGHT K.

“Artificial Intelligence” p.p. 105-303,547-559

Ed. McGraw Hill

ROLSTON D.

“Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos”

Ed. McGraw Hill

CERVANTES MARTINEZ MANUEL

“Sistemas Expertos Aplicados en Ingeniería Civil”

X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 1997

PINEDA CONTRERAS ALMA ROSA

“Sistema Experto para el análisis de excavaciones”

Tesis de licenciatura, UNAM 1996

CUENA J, FERNÁNDEZ G, LÓPEZ DE MÁNTARAS R.

“Inteligencia Artificial y Sistemas expertos”

Ed. Alianza

CHATAIN J.N., DUSSAUCHOY A.

“Sistemas Expertos, metodos y herramientas”

Ed. Paraninfo, Madrid

ROY WHITLOW

“Fundamentos de Mecánica de Suelos”

Ed. Cecsca

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

“Procedimientos de trabajo, fabac 001,006, 019, 022, 021”

I.M.P. Junio 1997

PETROLEOS MEXICANOS

“Norma para construcción de obras N° 2.214.04, análisis y diseño de cimentaciones para maquinaria ”

1991

PETROLEOS MEXICANOS

“Norma para construcción de obras N° 2.331.01, Bombas centrífugas ”

1991

PETROLEOS MEXICANOS

“Norma para construcción de obras N° 3.135.03, Acero de refuerzo en estructuras”

1991

PETROLEOS MEXICANOS

“Norma para construcción de obras N° 3.112.02, Concretos y morteros especiales para cimentaciones”

1991

PETROLEOS MEXICANOS

“Norma para construcción de obras N° 3.121.08, Clasificación de materiales para el pago de excavaciones”

1986

PETROLEOS MEXICANOS

“Norma para construcción de obras N° 3.120.00, Terracerías”

1985

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

“Reglamento para las construcciones de concreto estructural y comentarios A.C.I. 318-95, A.C.I. 318R-95”

Imcyc

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

“Detalles y detallado del acero de refuerzo del concreto A.C.I 315” Imcyc

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

“Manual de diseño de obras civiles, Acciones”

C.F.E. 1981

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

“Manual de diseño de obras civiles, Metodos de diseño”

C.F.E. 1979

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

“Manual de diseño de obras civiles, Cimentaciones en suelos”

C.F.E. 1981

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

“Manual de diseño de obras civiles, Diseño estructural de cimentaciones”

C.F.E. 1981

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

“Manual de diseño de obras civiles, Diseño por sismo”

C.F.E 1993

NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES

Secretaria de obras y servicios, Ciudad de México 1995

NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO

Secretaria de obras y servicios, Ciudad de México 1996

LUNA NERI LUZ MARIA

“Diseño estructural de cimentaciones bajo carga dinámica”

Tesis de licenciatura, I.P.N 1996

ANEXO 1

GLOSARIO

Acotación. Señalar o poner medidas, o medidas en un plano o croquis. Indicación de las dimensiones de una pieza mediante cotas, es decir números representativos de las medidas correspondientes.

Álabe. Cada una de las piezas metálicas que canalizan un fluido en una turbina o bomba.

Algoritmo. Proceso de cálculo que permite obtener un resultado. Cualquier esquema o proceso de cálculo con números o letras.

Análisis Estructural. Es la parte de la ingeniería estructural que sirve para determinar en cada uno de los elementos de la estructura las acciones internas resultantes de la aplicación de las solicitaciones exteriores a la estructura total, así como también evaluar las deformaciones inducidas por dichas solicitaciones.

Analogía. Similitud, conformidad, afinidad. Forma de interpretación de las leyes, que consiste en extender a un caso no previsto la regulación establecida para otro por razones o semejanza. En las ciencias se hallan analogías, o sea similitudes conceptuales que permiten extender a otros campos de la ciencia lo que se ha obtenido en un sector, o bien comprender mejor o generalizar algunos fenómenos.

Movimiento Armónico. Caso particular del movimiento oscilatorio periódico.

Asentamiento. Cedimiento de una estructura sin que se comprometa su estabilidad. El asentamiento puede ser causado por sobrecargas de la estructura, por consolidación del terreno sobre el que descansa, por influencia de edificaciones contiguas, etc..

Axioma. Principio o sentencia tan clara que no necesita explicación. Principio evidente por si mismo y que no precisa demostración.

Biela. Barra que une dos piezas móviles y sirve para transmitir y transformar un movimiento. La biela es el órgano del motor que une el pistón y el cigüeñal. El conjunto formado por la biela y el brazo de manivela del cigüeñal, transforma el movimiento alternativo rectilíneo del pistón en el movimiento continuo de rotación del árbol motor.

Bomba. Máquina empleada para la elevación de líquidos o para su transporte por el interior de una conducción. Las bombas pueden servir para operar también con fluidos gaseosos pero entonces se denominan compresores si funcionan a presiones elevadas, o ventiladores si operan a presiones no muy distintas de la atmosférica.

Caótico. Perteneciente al caos, la cuál es una ciencia que establece que cambios diminutos pueden causar fluctuaciones gigantescas, uno de los conceptos más importantes de esta ciencia es que aunque resulte impredecible predecir exactamente el estado futuro de un sistema, es algo trivial modelar su conducta global. La ciencia del caos es un campo de las matemáticas puras que estudia los mecanismos deterministas mediante los cuales resultaría imposible proponer una teoría unificadora, capaz de explicar cualquier fenómeno, observado o no.

Cohesión. Fuerza ejercida entre las moléculas de un mismo cuerpo, a las que mantiene unidas, oponiéndose a eventuales fuerzas externas tendentes a separarlas.

Computadora. Máquina automática de tratamiento de información que sigue unos programas formados por la sucesión secuencial de operaciones aritméticas y lógicas.

Contexto. Es la base de datos global y en ella se representa el estado actual de los problemas específicos que se están resolviendo, ya que su contenido cambia dinámicamente e incluye información proporcionada por el usuario sobre el problema y los resultados obtenidos por el sistema.

Determinismo. Movimiento filosófico que pretende establecer la veracidad de que todo hecho o acto resulta de las causas que lo determinan desde una perspectiva extrema de causa y efecto.

Diagnóstico. Juicio o valoración.

Dimensionamiento. Diseño detallado que implica la selección del material, tipo de sección transversal y tamaño de los componentes estructurales satisfaciendo todas las condiciones impuestas por el diseño.

Diseño. La determinación de un conjunto de características geométricas y de materiales, así como de especificaciones con las que debe cumplir una estructura y los elementos que las conforman, tal que su configuración estructural sea capaz de soportar en forma segura y adecuada las cargas aplicadas, satisfaciendo las condiciones de resistencia, servicio y costo que se establecieron como objetivos.

Dominio específico de una disciplina. Conjunto de conocimientos científicos, tecnológicos o experimentales que conforman una disciplina.

Émbolo. Disco de metal, que se mueve entre dos fluidos, a diferente presión, para transmitir un esfuerzo motor. Órgano mecánico constituido por un disco o por un cuerpo cilíndrico deslizante en el interior de un cilindro hueco.

Especificaciones. Conjunto de determinaciones y precisiones que se deben cumplir para alguna tarea dada.

Estándar. Que esta unificado respecto a un modelo o criterio. Establecimiento de normas comunes y comúnmente aceptadas.

Excentricidad. Distancia entre el centro de presión y el centro geométrico de la sección de un sólido sometido a compresión excéntrica. La sección resulta en este caso sometida a compresión y flexión.

Formal. Perteneciente a la forma.

Formalización. Acción de formalizar, dar forma a una cosa.

Frecuencia. Número de vibraciones por unidad de tiempo en un fenómeno periódico. Magnitud física, relativa a los fenómenos periódicos, que representa el número de períodos verificados en la unidad de tiempo.

Generador. Máquina capaz de producir energía, según un principio físico, por reacción química.

Heurística. Conjunto de reglas o conocimiento informal que ayudan a mejorar la eficiencia en la búsqueda de una solución. Conocimiento empírico.

Hipótesis. Suposición o teoría no confirmada que se acepta de forma provisional.

Icono. Representación gráfica de una instrucción que se da a una computadora.

Inducción. Acción y efecto de inducir, Modo de razonar que consiste en sacar de los hechos particulares una conclusión general.

Inferencia. Procedimiento mediante el cual, basándose en ciertas hipótesis, se puede generalizar el resultado de un estudio o análisis basado en un número limitado de casos, a la totalidad de ellos.

Informática. Relativo a la informática. Ciencia del tratamiento automático y racional de la información considerada como soporte de los conocimientos y las comunicaciones

Interacción. Influencia recíproca

Interfaz. Sistema mediante el cual el usuario se comunica con la computadora.

Jerárquico. Clasificado de acuerdo a las funciones o relación de subordinación. Organización de cosas por categorías.

Lenguaje. Sistema útil para que la computadora acepte y entienda algoritmos expresados en una forma compatible con los seres humanos. Estos lenguajes resultan ser más simples que el lenguaje máquina.

Lisp. Siglas de LISt Processing. Conceptualmente Lisp es un lenguaje funcional en donde cada instrucción es una descripción de una función

Lógica. Ciencia que enseña a razonar con exactitud. Razonamiento, método. Modo particular de razonar.

Manivelas. Palanca acodada en ángulo recto que, unida a un eje, sirve para hacerlo girar y accionar así un mecanismo.

Menú. Borrador de una escritura. Apuntación que se hace por escrito.

Omisión. Acción y efecto de omitir. dejar de hacer.

Oscilación. Fenómeno por el cual una magnitud, varía siguiendo una ley periódica en función del tiempo.

Paradigma. Ejemplo que sirve de norma, metodología o modo de hacer algo.

Perno. Elemento de las máquinas que permiten efectuar uniones fijas, pero desmontables. Esta constituido por un tornillo con cabeza, y su tuerca correspondiente, que une las partes mecánicas aprisionándolas entre la cabeza y la tuerca. Esta unión permite por tanto prescindir del roscado de los orificios en ambas partes. El perno de cimentación, denominado más frecuentemente de anclaje, se usa para el anclaje de las máquinas a su base de cimentación.

Plasticidad. Propiedad que poseen determinados cuerpos sólidos que, sometidos a esfuerzos mecánicos intensos, experimentan deformaciones irreversibles, es decir, que persisten aún después de cesar dichos esfuerzos.

Primitiva. Que pertenece al primer estado de las cosas. Es todo concepto cuya definición es intuitiva y no puede derivarse de conceptos más simples.

Procesador. Elemento de un computador que efectúa el tratamiento completo de una serie de datos.

Prolog. Siglas de PROgramming in LOGic. Es un lenguaje simbólico para inteligencia artificial, basado en lógica formal; Conceptualmente Prolog es un lenguaje que se basa en la lógica, cada instrucción del lenguaje es una expresión en una sintaxis de lógica formal.

Prototipo. Original, modelo, primer tipo de una cosa.

Red. Circuito complejo, constituido por varios elementos conectados de diversas maneras y que forman el conjunto de varias líneas destinadas a la transmisión o a la distribución de la corriente y de la energía eléctrica, así como a la unión de aparatos de determinado tipo ubicados en sitios diferentes. Los puntos de conexión entre dos o más elementos se llaman nudos de interconexión de la red y las partes de circuitos comprendidas entre dos nudos se llaman ramales. Nudos y ramales considerados de modo que constituyen en circuito cerrado, forman las mallas de la red.

Resonancia. Aumento de la amplitud de las oscilaciones forzadas en un movimiento armónico amortiguado sometido a una fuerza exterior periódica.

Rigidez. La relación entre el esfuerzo aplicado a un cuerpo sólido y la correspondiente deformación conseguida. Por lo tanto la rigidez depende de la naturaleza del material, de la forma de la sección transversal del sólido y del tipo de fuerza aplicada. La rigidez a la flexión de una viga está definida por el producto EI , siendo E el módulo de elasticidad normal, e I el momento de inercia correspondiente al plano de la sección que se considera.

Robótica. Conjunto de estudios y técnicas que aspiran a construir sistemas capaces de sustituir al hombre en sus funciones motrices e intelectuales.

Semántica. Ciencia que trata de los cambios de significación de las palabras.

Shell. Sistema experto carente de una base de conocimientos, solo consiste de un mecanismo de inferencia y una memoria de trabajo, y en algunas ocasiones alguna otra función adicional.

Síntesis. Fase de una marcha sistemática de investigación que utiliza los datos recogidos en la fase de análisis y deduce conclusiones por agrupación y conveniente proceso de los mismos.

Sistemático. Que se ajusta a un sistema.

Software. Conjunto de los programas o instrucciones necesarias para que una computadora lleve a cabo su tarea y todo lo relacionado con estos programas.

Turbogenerador. Generador eléctrico accionado por una turbina de vapor o gas.

Utileria. Conjunto de útiles o instrumentos que se utilizan para llevar a cabo una tarea dada.

Vector. Magnitud caracterizada completamente mediante un número (módulo), una dirección (una recta) y un sentido (recta orientada).

Vibración. Movimiento periódico continuo de un punto o de un sistema de puntos materiales alrededor de una posición de equilibrio.

ANEXO 2

"Número de Contrato:"
"1"
"Nombre del Proyecto:"
"Prediseño de cimentaciones para equipo
Tesis de Licenciatura"
"Elaboró:"
"Héctor Salazar Monreal"
"Fecha:"
"13-Marzo-1999"
"Peso del Equipo (Ton):"
""
"Largo de la Placa Base (m):"
"3.0"
"Ancho de la Placa Base (m):"
"1.5"
"Espesor de la Placa Base (m):"
""
"Numero de Pernos:"
"6"
"Altura al Eje de Rotación del Equipo (m):"
" 0.90"
"Resistencia del Concreto para la Cimentación f'c (kg/cm2):"
"250"
"Esfuerzo de Fluencia del Acero fy (kg/cm2):"
"4200"
"Normatividad utilizada:"
"Manual de Diseño de Obras Civiles CFE"
"Factor de Carga Gravitacional:"
"1.5"
"
"Factor de carga Accidental:"
"1.1"
"
"Capacidad de carga del Suelo (Ton/m2):"
" 8"
"Nivel Freático (m):"
""
"Nivel de Terreno Natural (m):"
""
"Nivel de Piso Terminado (m):"
""
"Nivel de Banqueta (m):"
""
"Nivel de la Boquilla de Succión (m):"
""
"Nivel de la Boquilla de Descarga (m):"
""
"Profundidad de Desplante (m):"
"0.50"
"Tipo de Suelo:"
"II"
"Zona Sísmica"
"B"
"Tipo de Perno Utilizado:"
"H"
"Diámetro del Perno Utilizado (pulg.):"
"1 1/2"
"Area de Acero en el Sentido Largo (cm2):"
" 19.73"
"Area de acero en el Sentido Corto (cm2):"

" 34.53"
"Para el Acero en el Sentido Largo se usará Varilla del Número:"
" 4"
"Y la separación es (cm):"
" 12"
"Para el Acero en el Sentido Corto se usará Varilla del Número:"
" 4"
"Y la separación es (cm):"
" 12"
"Geometria Final del Bloque:"
"Lado Largo del Bloque (m):"
" 3.5"
"Lado Corto del Bloque (m):"
" 2"
"Peralte del Bloque (m):"
" .72"
""
"Area de Contacto (m2):"
" 7"
"Esfuerzo Gravitacional Actuante (Ton/m2):"
" 5.163"
"Esfuerzo Accidental Actuante (Ton/m2):"
" 5.907"
"Peso de la Cimentación (Ton):"
" 12.095"
"Peso Total (Incluye Peso Propio y del Equipo) (Ton):"
" 36.143"
"Módulo de sección del Bloque (m3):"
" 2.333"
"Fuerza Cortante Actuante (Ton):"
" 3.6"
"Momento Actuante (Ton-m):"
" 5.831"

"Número de Contrato:"
"01"
"Nombre del Proyecto:"
"Tesis de licenciatura"
"Elaboro:"
"Héctor Salazar Monreal"
"Fecha:"
"20-Abr-1999"
"Trazo y Nivelación (m2):"
" 13.5"
"Excavación (m3):"
" 7.424"
"Relleno (m3):"
" 3.456"
"Traspaleo hasta 4.00 m (m3):"
" 5.158"
"Acarreo en Carretilla hasta 50 m. (m3):"
" 5.158"
"Carga y Acarreo 1er Km. (m3):"
" 5.158"
"Carga y Acarreo Km subsecuentes (m3/km)"
" 5.158"
"Elaboración de Concreto para Plantilla (m3):"
" .468"
"Elaboración de Concreto para el Bloque (m3):"
" 5.04"
"Vaciado de Concreto en Plantilla (m2):"
" 9.359"
"Vaciado de Concreto en el Bloque (m3):"
" 5.04"
"Cimbra y descimra en Reglas y Fronteras (m2):"
" 7.919"
"Junta de Expansión (2.5x2.0 cm. con sello de asfalto) (m):"
" 11"
"Rellenador Grout espesor 2.5 cm (lts):"
" 112.5"
"Limpieza General (m2):"
" 13.5"
"Para Acero en el Sentido Largo se tienen Varillas del Número:"
" 4"
"Para Acero en el sentido Corto se tienen Varilla del Número:"
" 4"
"Habilitado de Acero del Número:"
" 4"
"Peso Total (Ton):"
" .329"
"Tipo de Perno"
"H"
"Número de Pernos:"
"6"
"Diametro de los Pernos (Pulg):"
"1 1/2"
"Longitud del Perno (m):"
" .8"