

275
27



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON**

**“SISTEMA EXPERTO PARA EL DISEÑO
DE SOPORTES DE CONCRETO PARA
DUCTOS DE HIDROCARBUROS”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

PATRICIA ANGELICA TOBIAS ARROYO

ASESOR: ING. GUSTAVO JIMÉNEZ VILLEGAS

México

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

274502



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
MEXICO

PATRICIA ANGÉLICA TOBIAS ARROYO
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, "SISTEMA EXPERTO PARA EL DISEÑO DE SOPORTES DE CONCRETO PARA DUCTOS DE HIDROCARBUROS", 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.

**A la memoria de Miguel Francisco Tobías Ortíz
por tus consejos y educación he llegado a mi meta
recordare siempre tu espíritu.
Te amo Papá.**

**Por haberme dado la vida y por seguir conmigo
con amor te dedico este esfuerzo a ti Mamá.**

**Héctor por el amor,
comprensión que has tenido
y por el apoyo que me has brindado siempre,
te amo.**

**Mónica por tus sugerencias
durante la elaboración del presente trabajo.**

**Ing. Gustavo Jiménez Villegas
por su ayuda, consejos, apoyo
y confianza para llevar a
buen termino esta tesis.**

**Ing. Raúl López Chávez
Por la confianza depositada
para llevar a cabo este proyecto
y por sus sugerencias bien acertadas.**

**M. en C. Manuel Cervantes Martínez
por haber compartido sus conocimientos computacionales
y por su gran ayuda durante la elaboración
del programa prototipo.**

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

**Gracias a todos
Y sobre todo:**

**A Dios
por permitirme terminar una etapa más en mi vida.**

INDICE

SISTEMA EXPERTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE SOPORTES DE CONCRETO PARA DUCTOS DE HIDROCARBUROS

Indice de tablas y figuras.

Simbología.

Introducción.

Antecedentes.

Objetivo.

Alcances.

1.- Introducción a sistemas expertos.

1.1. Semblanza.....	1
1.2. Conceptos fundamentales.....	4

2.- Diseño particular de soportes de concreto para ductos de hidrocarburos.

2.1. Solicitaciones.....	19
2.1.1. Aspectos fundamentales.....	19
2.1.2. Cargas gravitacionales.....	19
2.1.3. Cargas accidentales.....	20
2.2. Metodología de diseño estructural.....	21
2.2.1. Consideraciones generales.....	21
2.2.2. Reglamentación aplicable.....	21
2.2.3. Capacidad de carga del terreno.....	30
2.2.4. Presiones ejercidas en el terreno.....	31
2.2.5. Procedimiento de diseño típico.....	34
2.3. Ejemplo numérico.....	39

3.- Sistema experto de diseño.

3.1. Introducción.....	51
3.2. Estructura del sistema experto.....	53
3.2.1. Generalidades del funcionamiento.....	54
3.2.2. Programas y Herramientas.....	56
3.3. Base de conocimientos para el diseño estructural.....	57
3.3.1. Etapas del proceso del SE.....	58
3.4. Representación del conocimiento.....	60
3.5. Mecanismo de inferencia.....	71
3.6. Explicación del comportamiento del sistema experto.....	73
3.7. Interfaz de usuario.....	73
3.7.1. Ventana Principal.....	74
3.7.1.1. Menú y Comandos.....	76
3.7.2. Ventana de Resultados.....	77
3.7.3. Detalle del Diseño.....	78
3.7.4. Ventana de Armados.....	79
3.7.5. Cuantificación.....	80
3.8. Ayuda en línea para el usuario.....	80

4.- Emisión de la documentación final asistida por computadora.

4.1. Memoria de cálculo.....	82
4.1.1. Lineamientos generales para la memoria de cálculo.....	82
4.2. Dibujo asistido por computadora.....	85
4.2.1. Fundamentos del dibujo asistido por computadora.....	85
4.2.2. Estándares de dibujo.....	86
4.2.3. Arreglo y dibujo de las secciones y detalles.....	89
4.3. Cuantificación de materiales.....	89
4.3.1. Lineamientos para la cuantificación.....	89
4.3.2. Formato y catálogo para los conceptos de obra.....	90
4.3.3. Ejemplo numérico.....	92

4.3.4. Algoritmo de cuantificación.....	96
4.3.5. Números generadores.....	98

5.- Ejemplos.

5.1. Ejemplo con SEDIS.....	99
-----------------------------	----

Conclusiones y recomendaciones.....	113
-------------------------------------	-----

Anexo 1

Tabla de pesos de la tubería

Glosario

Referencias.

Indice de tablas y figuras:

- Tabla 2.1. Clasificación del suelo para el resto de la República.
- Tabla 2.2. Coeficientes sísmicos para D.F.
- Tabla 2.3. Espectro de diseño para estructuras del Grupo B.
- Tabla 2.4. Datos de Proyecto.

- Figura 1.1. Arquitectura general del SE
- Figura 2.1. Zonas de la República Mexicana para CFE
- Figura 2.2. Diagrama de presiones
- Figura 2.3. Momentos y cortantes debido a sismo
- Figura 2.4. Croquis de la estructura.
- Figura 2.5. Longitud del Soporte.
- Figura 2.6. Dimensiones propuestas.
- Figura 2.7. Acciones desfavorables.
- Figura 2.8. Diseño Final
- Figura 3.1. Arquitectura del SE para diseño de soportes de concreto.
- Figura 3.2. Ventana Principal de SEDIS (Interfaz de usuario).
- Figura 3.3. Ventana de Resultados
- Figura 3.4. Ventana de Detalles de Diseño
- Figura 3.5. Ventana de Armado
- Figura 4.1. Soporte para ductos de hidrocarburos
- Figura 4.2. Detalle del Anclaje de la canal.
- Figura 5.1. Datos de Proyecto.
- Figura 5.2. Acceso de Datos.
- Figura 5.3. Reglamento y Factores.
- Figura 5.4. Coeficiente Sísmico.
- Figura 5.5. Guardar en un Archivo.
- Figura 5.6. Ventana Principal con nombre asignado.
- Figura 5.7. Resultados del Diseño.
- Figura 5.8. Armado propuesto por SEDIS.
- Figura 5.9. Cuantificación.
- Figura 5.10. Detalles de Diseño (Bitácora).

Simbología:

- As Área de refuerzo longitudinal en tensión en vigas, o área total de refuerzo longitudinal en columnas cm^2 .
- $A_{S_{\min}}$ Área de acero mínima de refuerzo
- b Ancho de una sección rectangular, o ancho del patín a compresión en vigas T, I, o L, cm.
- b' Ancho del alma de una sección T, I, o L, cm.
- CFE Comisión Federal de Electricidad
- Df Profundidad de desplante
- e Excentricidad
- Fc Factores de carga
- f'c Resistencia especificada del concreto a compresión, kg./cm^2 .
- f*c Resistencia nominal del concreto a compresión, kg./cm^2 .
- ϕ Diámetro de la tubería
- F_R Factor de resistencia.
- f_y Esfuerzo especificado de fluencia del acero, kg./cm^2 .
- h Peralte total de un elemento, o dimensión transversal de un miembro paralela a la flexión o a la fuerza cortante.
- IA Inteligencia Artificial
- IC Ingeniero de conocimientos
- L Claro de un elemento.
- M_U Momento flexionante de diseño.
- M_R Momento resistente de diseño.
- NTCDF Normas técnicas Complementarias al reglamento de construcciones del Distrito Federal
- p $\frac{A_s}{bd}$ (en vigas).
- RCDF Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.
- σ Esfuerzo debido a fuerzas gravitacionales y/o momentos
- SE Sistema Experto
- SM Clave que se le asigna a cada soporte adicionando un número
- t Espesor de un muro, o del patín de una viga T, cm.
- V_{CR} Fuerza cortante de diseño que toma el concreto.
- V_U Fuerza cortante de diseño que toma el concreto, kg.

Introducción

Desde la primera máquina calculadora mecánica del matemático francés Blaise Pascal (1642), hasta nuestros días con las computadoras personales que contienen procesadores Pentium con velocidades de 550 MHz que realizan procesos en milisegundos, la computación a tratado de simplificar las tareas y trabajos ahorrando tiempo, dinero y esfuerzo.

Se trata año con año de encontrar metodologías que simplifiquen los trabajos de cada una de las áreas del conocimiento. Así pues el humano trata de mejorar en calidad y simplificar el trabajo diario y especializado. En esta amplia búsqueda del conocimiento adecuado para efectuar esta simplificación, los científicos e ingenieros encontraron una metodología que si no es infalible es aceptable, y trata de reproducir el pensamiento humano; ésta que una rama de la Inteligencia Artificial y se encuentra dentro de los Sistemas Expertos.

La presente tesis muestra la metodología para desarrollar Sistemas Expertos de diseño estructural. Hace una reseña histórica de cómo surgieron éstos, desde los primeros días del desarrollo de la Inteligencia Artificial hasta nuestros días y las metodologías que se han usado Así mismo se presenta la arquitectura conceptual de los Sistemas Expertos en general, explicando cada parte que la compone, esto en la parte computacional.

En la parte que toca a Ingeniería Civil, concretamente Análisis y Diseño Estructural se presentan los lineamientos del análisis y diseño de soportes de concreto para hidrocarburos, considerando tanto los conocimientos formales (Reglamentos y Normatividad) como conocimientos heurísticos (del experto diseñador) y cada una de las posibilidades que el diseño tiene. Se presenta un ejemplo de análisis y diseño de un soporte como normalmente se hace sin la ayuda de alguna computadora en el capítulo 2.

Posteriormente se relacionan tanto los conocimientos computacionales como los conocimientos de análisis y diseño formando así el Sistema Experto de Diseño de Soportes de Concreto para Ductos de Hidrocarburos, llamado SEDIS. Este analiza y diseña el mismo soporte que se elaboro en el capítulo 2, esto se efectuó con la finalidad de comparar ambos métodos y verificar el comportamiento de SEDIS. A la arquitectura general de los Sistemas Expertos se le adicionaron conceptos para que éste pueda elaborar la memoria de cálculo, la cuantificación y el plano (teóricamente); desarrollando salidas apropiadas a los objetivos fijados, además la relación entre SEDIS y el usuario se logró a través de una interfaz amigable que hace vistoso al sistema.

Cabe mencionar que el diseñar una estructura emplea muchos conocimientos heurísticos y criterios del diseñador por lo que en ambos métodos (el normal y el computacional) se trato de homologar estos criterios como consideraciones.

Finalmente se puede decir que la presente tesis puede ayudar a desarrollar otros Sistemas Expertos dentro del área de Diseño Estructural, esperando que esta metodología sea bien recibida en el ámbito de Ingeniería Civil y porque no mejorar o crear otras metodologías que faciliten la creación de nuevos “programas inteligentes” que ayuden al Ingeniero a desarrollar sus tareas.

ANTECEDENTES:

El hombre ha tenido la inquietud y la necesidad de simplificar las actividades que realiza, ya sean de trabajo, entretenimiento etc. , por lo que ha creado a través de la historia de la humanidad máquinas que cumplan con este cometido. Como por ejemplo, el ferrocarril, el automóvil, los aviones, las naves espaciales, las computadoras y otros muchos inventos.

La ingeniería civil no ha sido una excepción a esta regla por lo que día con día gracias a la investigación de ingenieros y científicos de todo el mundo se crean nuevas técnicas, herramientas y metodologías, que de una u otra forma dan certidumbre a hipótesis propuestas con antelación o desechan las que no sirven; así también las computadoras con ayuda de algún programa creado por ingenieros (sean civiles o programadores) simplifican las tareas, ya que los tiempos de ejecución de estas se reducen.

El diseñar una estructura requiere del conocimiento en el área, tiempo y experiencia del ingeniero, ya que el proceso de diseño sigue los pasos que a continuación se describen:

- Proponer las características de elementos como sería: calidad y resistencia de los materiales a utilizar.

- Proponer las dimensiones del elemento (estructura), basadas muchas veces en la experiencia del diseñador.

- Revisar la propuesta de acuerdo a la normatividad o reglamentación existente.

- Corrección o rediseño del elemento si no cumple con los requerimientos mínimos de normatividad y/o reglamentación, así como,

- Una nueva revisión.

Hay estructuras que por sus características son muy recurrentes, por lo que llevar a cabo un diseño que probablemente se vuelva iterativo requiere de una inversión de tiempo considerable. En este tipo de estructuras se puede clasificar un sinnúmero; pero se han encontrado a través de la investigación métodos que pueden disminuir considerablemente el tiempo que invierte un ingeniero al diseñar este tipo de estructuras; este método se apoya y es ayudado por la tecnología que ha surgido en estos años, las computadoras, actualmente son una herramienta que día a día cobra más adeptos en ingeniería, ya que la velocidad con que ejecuta las operaciones matemáticas es impresionante, y la evolución que ha tenido en tan poco tiempo se hace evidente desde sus inicios con las primeras calculadoras hasta la actualidad con la más sofisticada computadora personal.

Las metodologías convencionales de programación existentes no son adecuadas para el tipo de solución y optimización que se pretende dar en el diseño de una estructura, por lo que se han buscado alternativas que con un “mínimo de esfuerzo en programación” se obtengan resultados satisfactorios.

Uno de los centros de investigación en los cuales se interesan por la optimización de los procesos en el diseño, es el Instituto Mexicano del Petróleo por lo que ha dado facilidades en cuanto a la investigación de metodologías que logren este cometido. En la Gerencia de Ingeniería de Detalle en el departamento de Civil Concreto tienen procesos de diseño que son muy iterativos, y que los ingenieros encargados de los proyectos, en los cuales intervienen estos procesos, invierten un número considerable de horas hombre para llevar a cabo este tipo de diseños. Entre los cuales se encuentran los soportes de concreto para ductos que transportan hidrocarburos.

Pero independientemente del tipo de estructura de que se trate; invariablemente el resultado final de cualquier diseño una vez terminado el proceso correspondiente, ya sea automatizado o no, es el siguiente:

a) una memoria de cálculo en la cual se reflejan los resultados del diseño, las consideraciones que se efectuaron, las especificaciones y las recomendaciones.

b) el plano en el que se reflejan los resultados del diseño por medio de dibujos y con el cuál se puede ejecutar (construir) la estructura; este plano cuenta con datos generales, recomendaciones, volúmenes y cantidades de obra, las cuales deben calcularse.

Estos procesos también se pueden automatizar, con la ayuda de los diversos programas de computo existentes que pueden analizar, dibujar y cuantificar, pero un programa tan específico para ayudar a diseñar, dibujar y cuantificar estructuras de concreto que soporten tubería todavía no esta disponible en el mercado computacional. Por lo que surge la necesidad para el Instituto Mexicano del Petróleo de llevar a cabo una herramienta que ayude al ingeniero a facilitar el proceso de diseño de dicha estructura.

OBJETIVO:

- El trabajo tendrá como finalidad implementar un programa de cómputo que ayude al ingeniero a diseñar estructuras de concreto que soporten ductos de transporte de hidrocarburos, así como establecer la metodología para estos desarrollos.

ALCANCE:

- Recopilar información en lo referente a las metodologías de diseño para estructuras de concreto que soporten ductos como son normas, reglamentación y recomendaciones; analizar las metodologías de diseño, en la elaboración del proceso de diseño y cuantificación aplicable al caso; desarrollar el sistema experto, que incluirá, el diseño de la estructura y como reporte final la elaboración de la memoria de cálculo y la cuantificación, así como emitir los resultados mediante ejemplos de aplicación. La etapa del dibujo sólo se explicará de forma general ya que en esta etapa de desarrollo del programa (prototipo) se considerará de forma teórica y se sentarán las bases de la metodología para llevar a cabo la representación gráfica del diseño, el plano.

b) el plano en el que se reflejan los resultados del diseño por medio de dibujos y con el cuál se puede ejecutar (construir) la estructura; este plano cuenta con datos generales, recomendaciones, volúmenes y cantidades de obra, las cuales deben calcularse.

Estos procesos también se pueden automatizar; con la ayuda de los diversos programas de computo existentes que pueden analizar, dibujar y cuantificar, pero un programa tan específico para ayudar a diseñar, dibujar y cuantificar estructuras de concreto que soporten tubería todavía no esta disponible en el mercado computacional. Por lo que surge la necesidad para el Instituto Mexicano del Petróleo de llevar a cabo una herramienta que ayude al ingeniero a facilitar el proceso de diseño de dicha estructura.

OBJETIVO:

- El trabajo tendrá como finalidad implementar un programa de cómputo que ayude al ingeniero a diseñar estructuras de concreto que soporten ductos de transporte de hidrocarburos, así como establecer la metodología para estos desarrollos.

ALCANCE:

- Recopilar información en lo referente a las metodologías de diseño para estructuras de concreto que soporten ductos como son normas, reglamentación y recomendaciones; analizar las metodologías de diseño, en la elaboración del proceso de diseño y cuantificación aplicable al caso; desarrollar el sistema experto, que incluirá, el diseño de la estructura y como reporte final la elaboración de la memoria de cálculo y la cuantificación, así como emitir los resultados mediante ejemplos de aplicación. La etapa del dibujo sólo se explicará de forma general ya que en esta etapa de desarrollo del programa (prototipo) se considerará de forma teórica y se sentarán las bases de la metodología para llevar a cabo la representación gráfica del diseño, el plano.

b) el plano en el que se reflejan los resultados del diseño por medio de dibujos y con el cuál se puede ejecutar (construir) la estructura; este plano cuenta con datos generales, recomendaciones, volúmenes y cantidades de obra, las cuales deben calcularse.

Estos procesos también se pueden automatizar; con la ayuda de los diversos programas de computo existentes que pueden analizar, dibujar y cuantificar, pero un programa tan específico para ayudar a diseñar, dibujar y cuantificar estructuras de concreto que soporten tubería todavía no esta disponible en el mercado computacional. Por lo que surge la necesidad para el Instituto Mexicano del Petróleo de llevar a cabo una herramienta que ayude al ingeniero a facilitar el proceso de diseño de dicha estructura.

OBJETIVO:

- El trabajo tendrá como finalidad implementar un programa de cómputo que ayude al ingeniero a diseñar estructuras de concreto que soporten ductos de transporte de hidrocarburos, así como establecer la metodología para estos desarrollos.

ALCANCE:

- Recopilar información en lo referente a las metodologías de diseño para estructuras de concreto que soporten ductos como son normas, reglamentación y recomendaciones; analizar las metodologías de diseño, en la elaboración del proceso de diseño y cuantificación aplicable al caso; desarrollar el sistema experto, que incluirá, el diseño de la estructura y como reporte final la elaboración de la memoria de cálculo y la cuantificación, así como emitir los resultados mediante ejemplos de aplicación. La etapa del dibujo sólo se explicará de forma general ya que en esta etapa de desarrollo del programa (prototipo) se considerará de forma teórica y se sentarán las bases de la metodología para llevar a cabo la representación gráfica del diseño, el plano.



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A SISTEMAS EXPERTOS

1.1. Semblanza.

La aplicación de la computación en la ingeniería civil tiene hoy en día un lugar muy importante, ya que ésta se utiliza en cualquier área o tarea que realiza el ingeniero. Esto es consecuencia del importante desarrollo que ha tenido últimamente el equipo y programas de cómputo, así como de las nuevas metodologías que los investigadores en el ramo ofrecen para integrar de una forma cada vez más adecuada las ventajas que ofrece la computación. Es por esto que con los progresos que se tienen en ingeniería motiven y dirijan los avances de la computación ya que estos deben tener un propósito. Un ejemplo de este desarrollo es el de los programas de método de elementos finitos el cual tiene sus orígenes en las matemáticas aplicadas y análisis numéricos, y cuya evolución sigue caminos paralelos a los del análisis estructural, a la mejora de algoritmos y al incremento en la capacidad de las computadoras.

Los grandes avances en la ciencia de la computación han llevado al hombre a simplificarle las tareas y trabajos que realiza, pero las exigencias del mundo contemporáneo han llevado a esta ciencia a desarrollar metodologías más avanzadas, tanto que las líneas de investigación tienen una gran tendencia hacia el desarrollo de equipo y programas más sofisticados, los cuales tratan de semejar el comportamiento y pensamiento humanos. Éstos procesos son extremadamente complicados para una computadora ya que los modelos del pensamiento humano son difíciles de traducir a un programa de computadora. En el proceso de modelar la información en la mente se puede decir que existen dos unidades de memoria que guardan de forma distinta la información.

Unas llamadas unidades cortas que son unidades momentáneas, en las cuales la información se almacena por un tiempo corto y las unidades largas que guardan la información por un lapso más amplio. Los datos continuamente están entrando al cerebro a través de los cinco sentidos y estos son almacenados temporalmente en unidades cortas de memoria, después la mente humana filtra estos datos y decide que es importante y que no, almacenando así la información importante en unidades de memoria largas en una complicada red de algún tipo en el cerebro. La información almacenada en unidades largas de memoria es almacenada principalmente en forma de símbolos y modelos.(Ref. Adeli.)

La mente humana es lenta almacenando información, le toma aproximadamente 70 milisegundos almacenar un pedazo de información en una unidad larga de memoria, comparada con una máquina computadora que puede ejecutar complejos procesos simbólicos a velocidades asombrosas [(como por ejemplo una computadora personal con procesador pentium realiza 100 millones de instrucciones por segundo (Ref. Intel Co.)]. Es por esto, que se considera que la mente humana es lenta al hacer procesos numéricos comparada con la más simple calculadora que puede sin esfuerzo ejercer el más largo y rápido cómputo, pero la mente humana es eficiente tratándose de los procesos simbólicos y de raciocinio. Como contraparte el cerebro es increíblemente eficiente reconociendo modelos simbólicos y recuperando la información almacenada en unidades largas de memoria. Esta es la razón por la que usualmente toma años convertirse en un experto. Simular la habilidad del proceso simbólico de la mente humana es un tema de particular interés para la gente involucrada en el desarrollo de máquinas inteligentes. (Ref. Adeli.)

La inteligencia artificial (IA) es la rama de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente, trata con razonamiento simbólico y con la solución de problemas. La IA se interesa en conceptos y métodos de inferencia simbólica por medio de una computadora y en la representación simbólica del conocimiento que se utiliza en la creación de inferencias.

Durante los primeros días de la inteligencia artificial en los 60's, la investigación de la IA intentó modelar el proceso del pensamiento humano con el propósito de resolver problemas generales y trató de construir un sistema general de resolución de problemas que intentaba que los algoritmos empleados hasta esa época que probaban todas y cada una de las posibilidades no tomaran en ejecutarse un tiempo considerablemente largo, ya que este se tornaba de forma exponencial en relación a la complejidad del problema, este programa estaba basado en un enunciado para un método de solución y en algunos datos para iniciar dicho programa, pero en esta época no se recurría a los expertos en el área por lo que era difícil llevar a cabo este tipo de programas. Este esfuerzo no fue muy exitoso, pero proporcionó algunos resultados interesantes en la investigación permitiendo cambiar el enfoque de los problemas, restringiéndolos a un dominio específico, así se intentó reproducir la forma en que los expertos efectuaban el razonamiento para resolver un problema específico de su área, por lo que se tuvieron que apoyar en el conocimiento del tema tratado y en los expertos humanos del mismo. (Ref. Adeli)

En los 70's la investigación en la IA enfocó su atención en la representación y búsqueda de técnicas para representar el conocimiento y buscar una solución para resolver el problema más eficientemente. Fue alrededor de la mitad de la década de los 70's que la IA investigó y empezó a ver que la habilidad de resolver problemas de los humanos no se basa únicamente en su conocimiento de un dominio en particular sino también en el mecanismo de inferencia que usa. En la década de los 80's la IA se ha enfocado a estudiar el funcionamiento de la inteligencia humana tratando con razonamientos simbólicos y con la solución de problemas. Se ha comenzado a desarrollar diversos proyectos para que los sistemas sean capaces de entender el lenguaje humano, estos sistemas tienen como objetivo hacer a un lado la ambigüedad de las afirmaciones del lenguaje de las personas produciendo representaciones precisas procesables. (Ref. Cuenca)

Las aplicaciones de estas técnicas fueron desarrolladas por empresas especializadas que realizan aplicaciones para la industria. A fines de 1984 existían alrededor de 151 empresas en el mundo dedicadas a la actividad de desarrollar sistemas de inteligencia artificial y tres empresas dedicadas a construir máquinas con chips que contenían el lenguaje LISP. (Ref. Cuenca)

Hoy en día se está intentando dar una difusión a esta metodología para poder optimizar la inversión de tiempo y dinero, en la elaboración de cualquier tarea que requiera de algo más que una simple programación algorítmica y en la cual pueden intervenir la experiencia y el conocimiento humano.

Actualmente la aplicación de la inteligencia artificial se puede clasificar en 7 categorías (Adeli Hojjat 1988):

- Procesamiento del lenguaje natural.
- El modelado de los procesos mentales
- Robótica
- Aprendizaje de máquinas.
- Sistemas expertos (SE)
- Solución heurística de problemas.
- Representación del conocimiento.

Siendo para nuestro interés la más importante la de los Sistemas expertos.

Los SE se están empleando en una variedad de aplicaciones que comprenden, entre otros conceptos: diagnóstico, planeación, predicción, diseño, interpretación, control, monitoreo de estado e instrucción. En el futuro a medida que se produzcan nuevas arquitecturas de equipos que soporten de una manera más directa la ejecución de SE y que se perfeccione la tecnología de la IA, es razonable esperar un desarrollo de sistemas que se aproximen bastante al comportamiento humano en muchas áreas.

1.2 Conceptos fundamentales.

Un SE es un programa de cómputo interactivo que funciona bajo reglas determinadas que están en función de los criterios de un experto humano usando tanto conocimiento formal como heurístico (Ref. Adeli). El SE incluye una compilación del conocimiento de un área específica por medio del cual el sistema infiere las posibles soluciones de un problema determinado, esta

inferencia constituye el razonamiento del SE y es la parte especializada. Cabe aclarar que tanto el conocimiento como las inferencias que el SE realiza son independientes una de otra. Al decir que existe una separación muy clara entre el razonamiento y el conocimiento del SE, significa que no interviene ningún conocimiento especializado en la concepción de las inferencias y viceversa, esto significa que al modificar o actualizar dicho conocimiento el método de inferir las soluciones no cambia. Las partes que constituyen a un SE son las siguientes, y se explicará cada una más adelante:

- A) Interfaz con el usuario
- B) Base de conocimientos
- C) Motor de inferencia
- D) Adquisición de conocimiento.
- E) Sistema de explicación
- F) Módulo de ayuda.
- G) Bitácora de trabajo.

Los SE adquieren el conocimiento especializado a través de un experto en un área determinada, almacenando este conocimiento en una “base de conocimientos”, que podría decirse que es una especie de biblioteca o archivo de un tema determinado. El SE tiene por objeto el modelado del comportamiento de un experto humano, que cumple la tarea de solucionar problemas en los que no se dispone de un algoritmo bien definido o no se puede establecer tal algoritmo.

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 requieren de la experiencia y criterios acumulados por los expertos, y lo hacen por medio de la simulación del discernimiento y la intuición humanas.(Ref. Rolston)

El SE incorpora el conocimiento de una persona experimentada, de forma que éste es capaz de responder como ese experto, así como de explicar y justificar sus respuestas; la estructura de estos sistemas permite modificar su conocimiento, ampliándolo o corrigiendo sus errores, de tal forma que el sistema comienza a adquirir experiencia con cada uso.

El término **heurística** se refiere a la experiencia acumulada por un experto humano durante su vida profesional bajo un número de años. Usando la heurística un sistema experto puede educar, reconocer, aprender y ampliar su conocimiento.

En conclusión un SE internamente, se puede caracterizar como un sistema que contiene:

- Un amplio conocimiento específico a partir del campo de interés.
- Aplicaciones de técnicas de búsqueda.
- Soportes para análisis heurísticos.
- Habilidad para inferir nuevos conocimientos a partir de conocimientos ya existentes.
- Capacidad para explicar su propio razonamiento.

Para una solución práctica de problemas se tiene que simular el proceso que una persona experta utiliza para resolver un problema complejo, se deberá establecer primero, una comprensión clara de dicho proceso.

El conocimiento dentro de un SE.

Primero se debe entender el proceso básico para enfrentar un problema. Esto es más bien, una forma general de conocimiento experto que es común en muchas áreas. Las primeras investigaciones en inteligencia artificial se centraron mucho en el examen de este aspecto, del desempeño del experto. La segunda forma de conocimiento experto es el conocimiento de un área específica. Esta forma de pericia caracteriza todo el comportamiento del experto. De aquí se puede establecer el siguiente principio:

Principio 1.1: La potencia de un experto se debe más al conocimiento amplio del área específica que a la comprensión del desempeño genérico de un experto. (Rolston David 1990)

Para poder expresar el conocimiento dentro de los SE y así dar origen a una habilidad experta se debe clasificar ese conocimiento dentro de los siguientes puntos:

- **Hechos:** Declaraciones que relacionan algunos elementos de la realidad con referencia al área específica, (Ref. Rolston) por ejemplo:

El concreto alcanza su máxima resistencia de diseño a la compresión a los 28 días de colado.

- **Reglas de procedimiento:** Reglas bien definidas e invariables que describen secuencias fundamentales de eventos y relaciones relativas al área, (Ref. Rolston) por ejemplo:

Si los esfuerzos actuantes de una cimentación sobre el terreno son mayores que los esfuerzos permisibles en el mismo, entonces es necesario aumentar las dimensiones de la cimentación para incrementar el área de contacto.

- **Reglas heurísticas:** Reglas generalmente 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, (Ref. Rolston) por ejemplo:

Para evitar el volteo en una cimentación hay que colocarle un lastre.

El uso de heurística contribuye grandemente a la potencia y flexibilidad de los SE y tiende a distinguirlos aún más de los programas de cómputo tradicionales. Además de estas formas específicas 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 (Ref. Rolston).

Contrariamente a la programación tradicional, la modificación de uno de los elementos anteriormente descritos no tiene consecuencias catastróficas sobre el desarrollo del programa. Sólo cambia las conclusiones de los razonamientos en las que el elemento interviene.

Arquitectura de los sistemas expertos.

Los SE emplean una amplia variedad de arquitecturas específicas en sus sistemas, principalmente porque una arquitectura es más aplicable que otra cuando se considera una aplicación dada.

A pesar de las diferencias significativas la mayoría de las arquitecturas tienen muchos componentes en común. La figura 1.1 Arquitectura general de los SE muestra los componentes típicos. En las siguientes secciones se darán mayores detalles en relación con cada uno de los componentes de la figura mencionada.

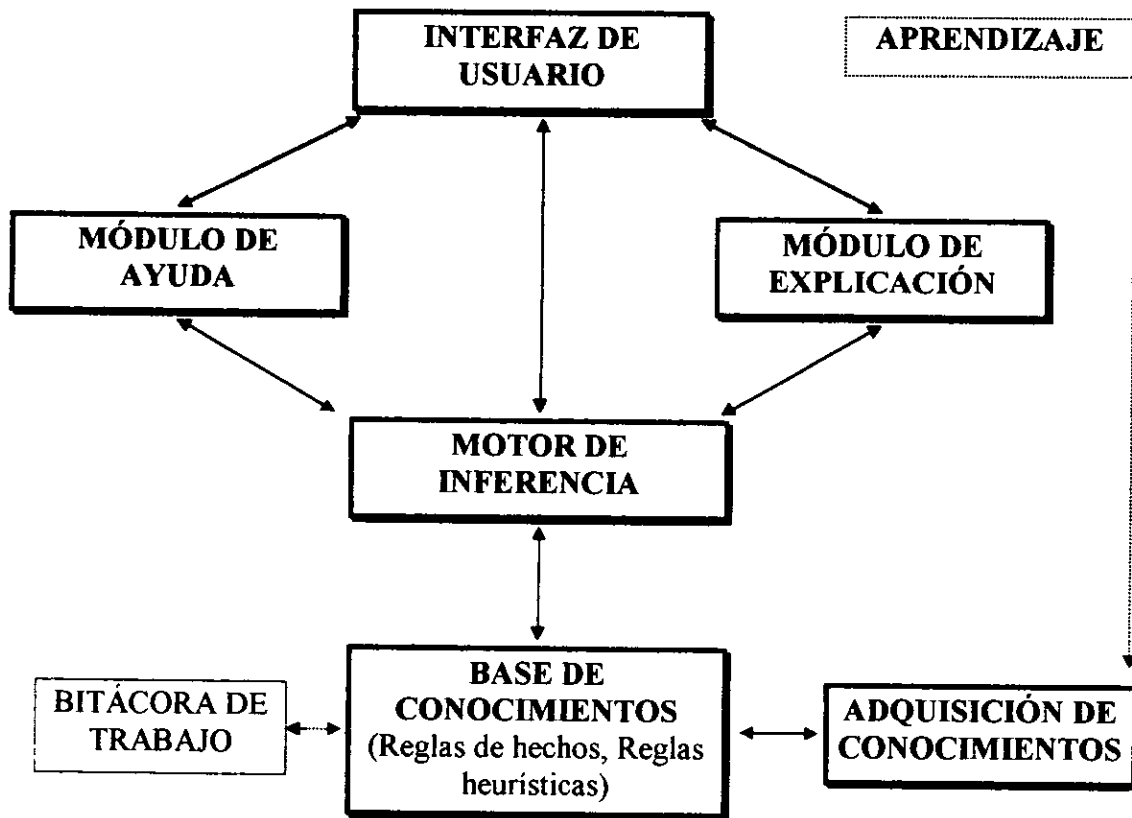


Fig. 1.1. Arquitectura general de los SE.

A. Interfaz con el usuario.

La interacción de 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.

Idealmente, se compone de un sistema procesador del lenguaje natural que acepta y devuelve esencialmente información en la misma forma con la que fue aceptada u ofrecida por una persona experta. Aunque en la actualidad no existen sistemas que reproduzcan las capacidades del lenguaje humano, sí existen muchos otros que han producido impresionantes resultados mediante la utilización de subconjuntos restringidos del lenguaje. (Ref. Rolston)

La interfaz del usuario a menudo se diseña para reconocer el modo en que el usuario está operando, su nivel de pericia y la naturaleza de la comunicación entre ellos. 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. (Ref. Rolston)

B. Sistemas de almacenamiento y generación de conocimiento.

El almacenamiento de conocimiento consta de una base de conocimientos y un motor de inferencia. Esta parte es el corazón de un SE. La función de este sistema consiste en almacenar confiablemente los conocimientos del experto, para recuperarlos e inferir nuevos conocimientos cuando se requiera. (Ref Rolston)

La **base de conocimientos** representa un depósito de las primitivas del conocimiento disponibles para el sistema, por ejemplo, hechos fundamentales, reglas de procedimientos y heurísticas. Según se describió en el principio 1.1, el concepto guardado en la base, establece la capacidad del sistema para actuar como un experto. (Ref. Rolston)

En general, el conocimiento se almacena en forma de hechos y de reglas, pero los esquemas específicos empleados para almacenar la información varían grandemente. El diseño de este esquema de representación de conocimientos afecta el diseño del motor de inferencia, el

proceso de actualización, del conocimiento, el proceso de explicación y la eficiencia global del sistema, lo anterior se puede resumir en el siguiente principio:

Principio 1.2: La selección del esquema de representación del conocimiento es una de las decisiones más críticas en el diseño de un SE. (Rolston David 1990)

La **ingeniería de conocimientos** es el proceso de adquirir el conocimiento del área específica y estructurarlo en la 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 (Ref. Rolston).

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 de los conocimientos en la base de conocimientos, se guarda de acuerdo con las normas de representación de conocimientos del sistema, el IC debe transformar la representación del conocimiento como parte del proceso de transporte. (Ref. Rolston)

Para adquirir el conocimiento necesario, el IC primero debe establecer una comprensión global del área, formar un diccionario de los términos y jerga esenciales del área y desarrollar una comprensión básica de los conceptos claves. Luego debe condensar el conocimiento sucinto a partir de la información suministrada por el experto. (Ref. Rolston)

La función de adquisición de conocimientos es comúnmente, el aspecto de mayor dificultad en la construcción de SE. Esto se debe principalmente al hecho de que el proceso requiere de una intensa comunicación humana, entre el experto del área y el IC y en consecuencia enfrenta los problemas asociados con esta actividad. Por lo 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.

C. Motor de inferencia.

Los SE deben por su naturaleza tratar flexiblemente con situaciones cambiantes. La capacidad para responder ante éstas situaciones depende de la habilidad para inferir nuevos conocimientos a partir de conocimientos existentes. (Ref. Rolston) A manera de ejemplo sencillo, consideremos los dos hechos básicos siguientes:

- a. Todos los animales respiran oxígeno.
- b. Todos los perros son animales.

Se puede inferir un nuevo hecho, “todos los perros respiran oxígeno” a partir de los dos hechos anteriores. Para responder a una situación dada, un SE debe aplicar el conocimiento apropiado, esto origina el principio 1.3:

Principio 1.3: El proceso de buscar los conocimientos apropiados y a partir de éstos deducir nuevos conocimientos constituye un elemento clave del procesamiento de un sistema experto. (Rolston David 1990)

Es obvio, que sería completamente válido guardar directamente el hecho: “todos lo perros respiran oxígeno” en vez de exigir que sea inferido de las primitivas de conocimiento durante la ejecución.

Una de las mayores dificultades asociadas con la operación a partir de las primitivas es el hecho que, aún unos pocos elementos individuales (tales como primitivas) se pueden combinar dentro de un número muy grande de combinaciones únicas. El número de posibilidades a partir de un conjunto grande de elementos se conoce como explosión combinatoria. Para vencer esta dificultad, la mayoría de los SE dependen del uso de conocimiento compilado, conocimiento de alto nivel que se genera de un modo vivencial a través de años de práctica, en lugar de intentar operar realmente a partir de primitivas.

El motor de inferencia es la parte del SE que ubica los conocimientos e infiere nuevos usando la base de conocimientos. El paradigma del motor de inferencia es la estrategia de

búsqueda que se emplea en un SE, pero la mayoría de ellos se basan en dos conceptos fundamentales (Ref. Rolston):

- a. Encadenamiento hacia atrás (o retroencadenamiento) que es el proceso de razonamiento descendente, que se indica a partir de objetos deseados y trabaja hacia atrás en dirección a las condiciones pre-requisito, o
- b. El encadenamiento hacia adelante (o encadenamiento frontal) que es un procesamiento de razonamiento ascendente que se indica con condiciones y trabaja hacia adelante

Tomando en cuenta lo anterior se puede establecer:

El principio 1.4: La selección del paradigma de inferencia considerando la explosión combinatoria, influye fuertemente en el desempeño global de un SE. (Rolston David 1990).

D. Adquisición de conocimientos.

La base de conocimientos presumiblemente, es la parte que tiene la información necesaria para que el SE funcione adecuadamente, pero es el motor de inferencia el que hace las reflexiones necesarias para llegar a la solución. Pero como lo indica *el principio 1.5: En un SE ideal, el motor de inferencia nunca debería necesitar modificaciones* (Rolston David 1990). Desafortunadamente esto no siempre se cumple ya que en muchas áreas complejas el conocimiento crece y cambia constantemente por lo que 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 como se describe a continuación:

- a. La primera forma es la actualización manual de conocimientos. En este caso la actualización se lleva a cabo por un IC quien interpreta la información ofrecida por un experto en el área y actualiza la base de conocimiento mediante el uso de un sistema limitado de actualización.

- b. La segunda forma, que representa el estado del arte en SE, 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.
- c. 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 esta 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 asegurar una completa independencia de la base de conocimientos y del motor de inferencia.

E. Sistema de explicaciones.

Además de lograr simplemente una conclusión cuando enfrenta un problema complicado, un experto también es 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 la identificación de los pasos en el proceso de razonamiento y de una justificación de cada uno de ellos.(Ref. Rolston)

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 por el usuario, esto conduce al:

Principio 1.6: La credibilidad que se le concede a un SE depende de la habilidad del SE para explicar su propio proceso de razonamiento (Rolston David 1990).

La capacidad de explicación en varios sistemas actuales se limita a listar las reglas que se utilizaron durante la ejecución.

F. Módulo de ayuda.

Dentro del SE y como apoyo para el usuario se tiene una ayuda, una especie de manual de consulta en el cual se tiene la siguiente información general: un contenido, el índice, una breve introducción al SE, ejemplos, sugerencias y el soporte técnico del mismo.

G. Bitácora de trabajo.

En esta parte el SE lleva una relatoria de los procedimientos, acciones y hechos que hace durante la ejecución del mismo, así también lleva un control de las ejecuciones hechas anteriormente, guardando los datos más relevantes.

Lenguaje de programación para sistemas expertos.

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: (Ref. Rolston) que son una serie de caracteres como lo pueden ser los nombres que se emplean libremente para representar cualquier elemento por ejemplo: *concreto* éste tiene una serie de atributos que son cemento, grava, arena, agua por lo cual el conjunto de caracteres *concreto* toma un valor cualitativo.

Los lenguajes de programación LISP y PROLOG son por excelencia los lenguajes comunes más empleados en la construcción de SE, aunque muchos lenguajes convencionales, específicamente el lenguaje C, se está volviendo habitual. LIPS conceptualmente es un lenguaje funcional; cada instrucción en el lenguaje es una descripción de una función. Conceptualmente

PROLOG es un lenguaje que se basa en la lógica; cada instrucción del lenguaje es una expresión en una sintaxis de lógica formal. (Ref. Rolston)

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

A medida que tales lenguajes se vuelvan de comunes, es razonable esperar la evolución de herramientas de desarrollo más sofisticadas.

Etapas del desarrollo de sistemas expertos.

El proceso de desarrollo de los SE consiste de varias etapas básicas que son similares a las típicas del ciclo de vida establecidos por la ingeniería de software. Estas etapas son: la identificación del problema, construcción de un prototipo, formalización, implantación, evaluación y mantenimiento. (Ref. Rolston)

Sin excepción, la primera tarea en el desarrollo de cualquier SE es identificar que el problema propuesto sea apropiado y requiera ser solucionado mediante un sistema experto. No todos los problemas son adecuados para desarrollarlos mediante la metodología de un SE. Si el problema en consideración se puede describir en términos de definiciones y algoritmos explícitos, es preferible desarrollar la solución mediante la programación tradicional. Si el problema no está bien identificado o demanda amplio criterio humano y no es posible de traducir en reglas específicas, es probable que sea demasiado complejo para un SE.

Después de la selección de un problema apropiado, se constituye un prototipo pequeño para ayudar en la comprensión del problema completo y estimar la tarea de la construcción de la solución total. El siguiente paso en el proceso de desarrollo, es formalizar el enunciado del problema y diseñar completamente el SE. (Ref. Rolston)

Después de la formalización se realiza la implantación. Esta consiste principalmente en un ciclo continuo de adquisición de conocimientos, actualización de la base de conocimientos y pruebas.

La fase de evaluación, se entiende como la estimación de que tan aproximado es el desempeño del SE con respecto al del experto humano. Después de la evaluación y entrega, el SE entra en un periodo de mantenimiento a largo plazo. Durante este periodo el sistema continúa incrementando su competencia (según la experiencia que se vaya logrando con su empleo) y se revisa como respuesta a los cambios en los conocimientos del área.

Estado actual del desarrollo de sistemas expertos.

Los SE actuales pueden operar según su alcance programado y la complejidad de la tarea por lo que se han clasificado en tres clases generales (Ref. Rolston):

- Asistente:*** Un pequeño sistema basado en conocimientos que realiza un subconjunto de una tarea experta, valioso económicamente pero técnicamente limitado. Muchos “asistentes” se basan en computadoras personales.
- Colega:*** Un sistema de tamaño mediano basado en conocimientos que realiza una parte significativa de una tarea experta. Los “colegas” se implementan tanto en PC como en instalaciones más grandes. (en estaciones de trabajo especializadas y grandes computadoras)
- Experto:*** Un sistema grande basado en conocimiento que se acerca al nivel de desempeño del experto, dentro de un dominio dado. Los “expertos” normalmente se implantan en potentes instalaciones utilizando herramientas complejas de desarrollo.

En años recientes, el término “sistema experto” se ha aplicado en forma general. A las anteriores clases de sistemas, se les llaman sistemas expertos porque dependen de un experto como fuente de conocimientos y estos conocimientos se implementan empleando técnicas basadas en conocimientos. La mayoría de los sistemas existentes y, algunos de los más rentables,

se clasifican bajo la categoría de asistentes o de socio. Pocos sistemas existentes están cerca de reemplazar a una persona experta en áreas complejas.

Forma de emplear el SE según el tipo de usuario.

Los SE no sólo deben ser diseñados y empleados por un solo tipo de usuario, ya que éste puede servir para diferentes niveles de trabajo como por ejemplo (Ref. Rolston):

- El verificador:*** El usuario intenta comprobar la validez del desempeño del sistema.
- El tutor.*** El usuario da información adicional al sistema o modifica el conocimiento que ya está presente en el sistema.
- El alumno:*** El usuario busca rápidamente desarrollar pericia personal relacionada con el área específica mediante la recuperación de conocimientos organizados y condensados del sistema.
- Y el cliente:*** El usuario aplica la pericia del sistema a tareas específicas reales.

El reconocimiento de las caracterizaciones anteriores contrasta con la percepción de un simple papel (el cliente) de los sistemas tradicionales de cómputo

También es importante reconocer que, aunque los sistemas expertos que subsisten sean potentes y muy útiles, existe un límite determinado de aplicación por la capacidad actual de las metodologías y técnicas que ofrece la IA. Los sistemas típicos tienen las siguientes restricciones:

- Los conocimientos se obtienen de un número pequeño de especialistas.
- La aplicación está orientada a un área específica limitada o a una pequeña colección de áreas.
- El área de aplicación debe tener poca necesidad de razonamientos temporales o espaciales.
- La tarea no depende del empleo de un gran volumen de conocimientos generales o de sentido común.

- El conocimiento que se requiere para ejecutar la tarea, es razonablemente completo, correcto y estable

Aunque tales limitaciones existen, hay muchas áreas que son apropiadas para la aplicación de los SE. El desarrollo de los SE es todavía relativamente nuevo, subsisten muchos SE en la actualidad que se emplean en una amplia variedad de organizaciones con variadas aplicaciones.



CAPÍTULO 2

DISEÑO PARTICULAR DE SOPORTES DE CONCRETO PARA DUCTOS DE HIDROCARBUROS.

2.1. SOLICITACIONES.

Se marcarán las diferencias entre cada tipo de acciones que soportara la zapata, una vez analizadas estas diferencias se podrán emplear un método de diseño adecuado a tales acciones.

2.1.1. ASPECTOS FUNDAMENTALES.

Las solicitaciones son aquellas acciones como las cargas verticales o gravitacionales, debidas por ejemplo: al peso propio de la estructura o inducidas por algún elemento estructural; cargas horizontales o accidentales como son el viento, los sismos, etc.

Se deben considerar todas aquellas solicitaciones que pueden ocurrir al menos una vez en la vida de la estructura, ya que estas son las que marcan la pauta del diseño.

2.1.2. CARGAS GRAVITACIONALES.

Las cargas gravitacionales como su nombre lo indican son aquellas que gravitan sobre la estructura y estas se dividen en:

a) **Cargas permanentes** son las que están constantemente actuando sobre la estructura, su intensidad varía muy poco con el tiempo, dentro de esta categoría se encuentran las cargas muertas, y las cargas inducidas por alguna acción permanente.

b) **Cargas variables** son las que actúan sobre la estructura con una intensidad que varía con el tiempo, dentro de esta categoría se encuentran las cargas vivas.

Para el caso de zapatas que sirven como soporte a ductos sólo se tomarán en consideración las cargas permanentes y dentro de estas se encuentra las debidas a: el peso propio de la zapata, el peso del material de relleno, el peso de la tubería, así como la acción debida a los cambios de temperatura por la contracción y expansión de la misma.

2.1.3. CARGAS ACCIDENTALES.

Estas se pueden presentar en alguna ocasión dentro de la vida útil de la estructura y no son debidas a las acciones mencionadas en los apartados anteriores, sino que se pueden producir por eventos como lo son los sismos, el viento o alguna otra acción que al no saber cuando van a ocurrir y con que intensidad van a presentarse se consideran accidentales. Para el diseño en cuestión se tomará en cuenta como carga accidental el efecto del sismo en la estructura por lo que la naturaleza del fenómeno sísmico implica que los temblores futuros se pueden describir sólo en términos probabilísticos. En vista de que es imposible acotar dentro de límites prácticos la máxima intensidad sísmica que puede ocurrir en un lugar dado, la elección del temblor de diseño debe considerarse la probabilidad de que su intensidad se exceda cuándo menos una vez durante la vida útil supuesta para la estructura.

Aún la recomendación más conservadora no suministraría una protección absoluta contra el temblor más intenso que pudiera ocurrir. Por lo tanto los criterios de diseño sísmico se fundamentan en la admisión de la posibilidad de colapso de toda la estructura, por remoto que se considere el fenómeno, lo que conduce a que unas estructuras han de protegerse contra el colapso en mayor grado que otras de acuerdo con su importancia.

Las solicitaciones que se adopten para el diseño sísmico de una estructura deben estar en función de las características probables de los temblores que puedan ocurrir en el sitio de interés, como del grado de seguridad recomendable para la estructura en cuestión, que depende de la magnitud en la pérdida que implicaría en caso de colapso o daño severo, y del costo que representaría construir la estructura más resistente.

Por otra parte, las solicitaciones de diseño, también dependen del sistema estructural, de los elementos y materiales de la estructura así como de los detalles de diseño y construcción, los cuáles determinan la forma de falla. Esta forma de tener en cuenta los aspectos estructurales lleva a caracterizar las estructuras en función de su estructuración misma por un lado, y de su ductilidad (o capacidad de disipación de energía que posee la estructura), por otro.

2.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

Se tratarán los aspectos que se deben considerar para diseñar, así como los lineamientos de diseño para las zapatas, considerando los aspectos particulares de los soportes de concreto

2.2.1. CONSIDERACIONES GENERALES.

La estructura a diseñar es una zapata corrida que estará sometida a diferentes acciones ya sean debidas al sismo o el fenómeno de dilatación de las tuberías a soportar. Desafortunadamente no se cuentan con normas y reglamentación específica para diseñar este tipo de estructura, pero para efectos prácticos al diseño convencional se le hicieron algunas adecuaciones, como por ejemplo tomar en consideración las condiciones más desfavorables y críticas para el diseño.

2.2.2. REGLAMENTACIÓN APLICABLE

Para efectos del análisis y diseño estructural se tomarán en cuenta que los proyectos a elaborar sólo estarán restringidos a una zona muy específica de la República Mexicana, donde existen yacimientos de petróleo como por ejemplo los estados de: Tabasco, Veracruz, Campeche, es necesario considerar que la mayoría de los Estados de la República Mexicana ya cuentan con reglamentos de construcción (Reglamentos Estatales), pero considerando que la estructura a

diseñar, no es una estructura urbana, el diseño se propone basarlo en los Manuales de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, para cuando se trate de diseñar en otro estado de la República Mexicana diferente al D.F., ya que en los estados antes mencionados PEMEX realiza principalmente sus actividades de extracción, y procesamiento de hidrocarburos. Cuando se trate del D.F. el diseño se adecuará al Reglamento de construcciones para el Distrito Federal la edición actualizada y las Normas Técnicas Complementarias de dicho reglamento, con algunas adecuaciones de los Manuales de la C.F.E.

a. Tipo de estructura.

Para la clasificación de los tipos de estructuras se tomó en cuenta el Artículo N° 174 del Reglamento de Construcciones para el D.F. (RCDF), y para el resto de la república el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), del Instituto de Investigaciones Eléctricas en el libro de estructuras llamado Criterios de Diseño con el número C.1.3 diseño por sismo del subtema 3.2.

Por lo tanto se considera a los soportes de concreto dentro del Grupo A: ya que son estructuras que requieren un grado de seguridad alto porque son estructuras cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas muy altas, podrían constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas; ya que la tubería a soportar transportar hidrocarburos que son considerados peligrosos y además si llegaran a fallar estos soportes implicaría una pérdida económica muy grande por el fluido que transportan, así como provocar una explosión y en consecuencia podría haber pérdida de vidas humanas.

b. Clasificación del suelo.

Para efectos de diseño sólo en el D.F., el suelo se clasificó de acuerdo al RCDF (artículo 219), dividiendo a este en tres zonas con las siguientes características generales:

Zona I .- Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o

intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena,

Zona II .- Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m. de profundidad, o menos, y que esta construida predominantemente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros, y

Zona III .- Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Pero para efectos del resto de la República Mexicana se consideró la clasificación del manual de obras civiles para diseño por sismo de la CFE tomado la siguiente clasificación:

Tipo de suelo	Tipo de terreno
I	Firme
II	Intermedio
III	Blando

Tabla 2.1. Clasificación del suelo para el resto de la República.

c. Coeficiente sísmico.

Considerando que el proyecto se puede efectuar en cualquier lugar del interior de la República Mexicana se tomó en consideración para el D.F, el RCDF de los artículos 206, 217 y 229 el coeficiente sísmico para las edificaciones clasificadas dentro del grupo B del artículo 174 de dicho reglamento, pero tomando en cuenta que la estructura a diseñar pertenece al grupo A se incrementará el coeficiente un 50 %.

Zona Por tipo de suelo	Grupo B	Grupo A
I	0.16	0.24
II	0.32	0.48
III	0.40	0.60

Tabla 2.2. Coeficientes sísmicos para el D.F.

Pero se aplicarán para las zonas especiales otros valores de c , los cuales se fijan en las Normas Técnicas Complementarias de dicho reglamento.

Aunque cada estado tiene su reglamento estatal para construcciones se consideró para el resto de la República la regionalización sísmica y espectros de diseño del manual de obras civiles de la CFE del capítulo 3, de diseño sísmico subtema 3.3

Con base en un estudio de riesgo sísmico que realizó la CFE, se encontró que para fines de diseño sísmico, la República Mexicana se considerará dividida en cuatro zonas, según se indica en la fig.:2.1 .Las fronteras entre zonas coinciden con curvas de igual aceleración máxima del terreno; la zona A es la de menor intensidad sísmica, mientras que la zona D es la de mayor intensidad sísmica.

Espectros para diseño sísmico: Las ordenadas del espectro de aceleraciones para diseño sísmico, a , expresadas como fracción de la aceleración de la gravedad, están dadas por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 a &= a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a}; & \text{si } T < T_a \\
 a &= c; & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\
 a &= c \left(\frac{T_b}{T} \right)^r; & \text{si } T > T_b
 \end{aligned}$$

Donde a_0 es el coeficiente de aceleración del terreno, c el coeficiente sísmico y T el periodo natural de interés; T_a y T_b son dos periodos característicos que delimitan la meseta y r un exponente que define la parte curva del espectro de diseño. Los valores de estos parámetros se

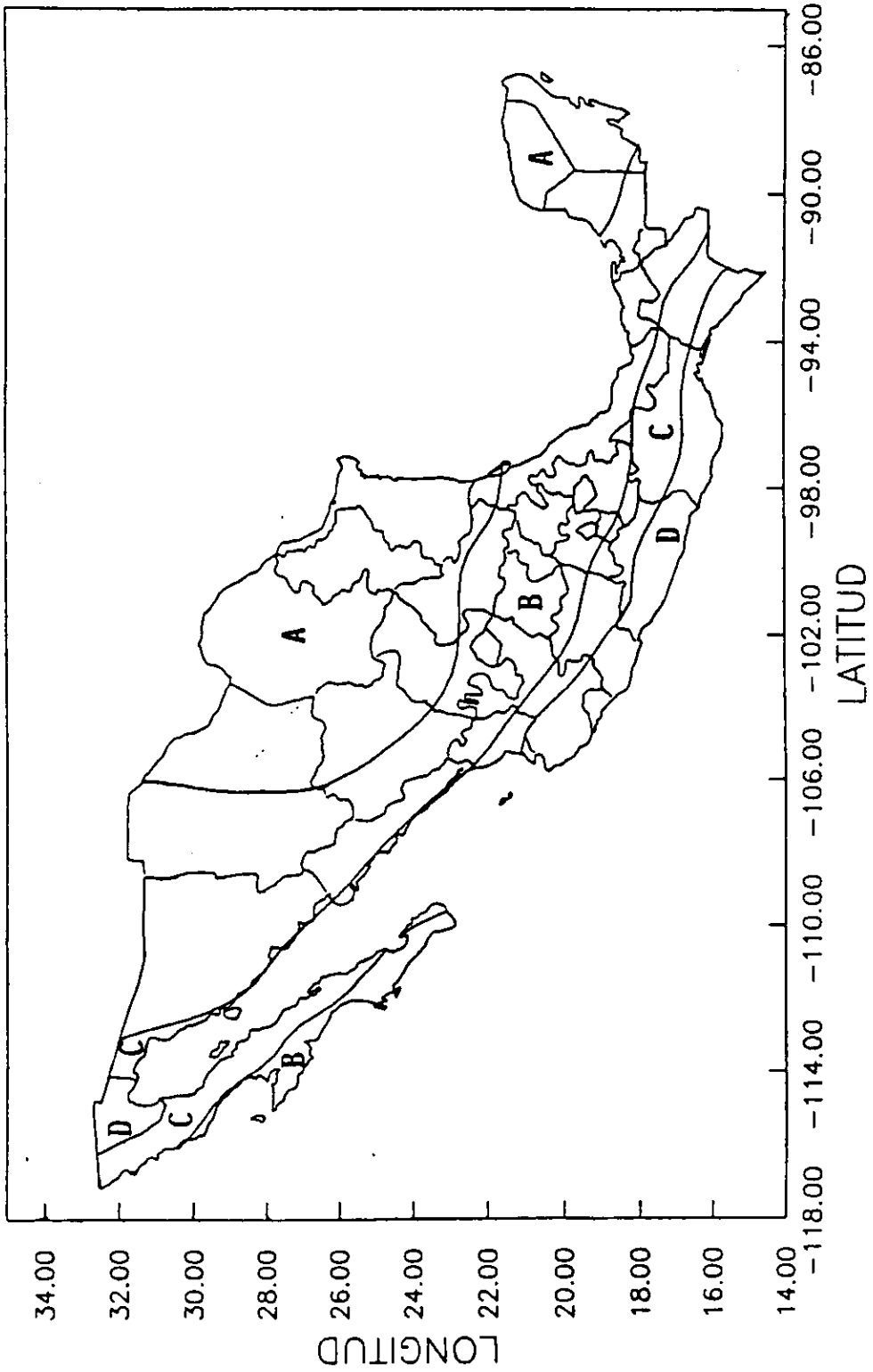


Fig. 2.1. Zonas de la República Mexicana para CFE

consignan en la tabla de espectros de diseño para estructuras del grupo B, para las diferentes zonas sísmicas y los distintos tipos de terreno de cimentación.

Zona Sísmica	Tipo de Suelo	a_s	C	T_a (s)	T_b (s)	r
A	I	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III	0.05	0.20	0.6	2.9	1
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1
C	I	0.36	0.36	0.0	0.6	1/2
	II	0.64	0.64	0.0	1.4	2/3
	III	0.64	0.64	0.0	0.9	1
D	I	0.50	0.50	0.0	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	0.0	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	0.0	1.7	1

Tabla 2.3. Espectros de diseño para estructuras del grupo B

Los espectros de diseño especificados, son aplicables a estructuras del grupo B. Para estructuras del grupo A como es el caso que nos compete, los valores de las ordenadas espectrales deberán multiplicarse por 1.5, a fin de tener en cuenta la importancia de la estructura. Cabe aclarar que como no se conoce el periodo de vibración de la estructura sólo se aplica el coeficiente c y no se considera las ecuaciones antes mencionadas.

d. Factores de carga.

La seguridad de una estructura se verifica para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una no despreciable probabilidad de ocurrir simultáneamente por lo que tomando en consideración el RCDF los artículos 188, 194 y 225 se desprenden que:

I.- Para combinaciones de acciones permanentes debidas al peso propio, el peso de las tuberías más acciones variables como la fuerza de dilatación debida a los cambios de temperatura en la tubería se considera, el factor de carga para este tipo de combinación se tomará igual a 1.5, ya que se trata de una estructura del grupo A,

II.- Para combinaciones de acciones permanentes debidas al peso propio de la estructura más acciones variables accidentales las fuerzas debidas a la acción de un sismo, se considerará un factor de carga de 1.1.

e. Factores de resistencia.

Se revisa para las diferentes acciones combinadas mencionadas anteriormente que la resistencia de diseño sea mayor o igual al efecto de las acciones de las combinaciones multiplicadas por los factores de carga, por lo que las resistencias deben afectarse por un factor de reducción, F_R , y como lo indican las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal (NTCDF) para diseño y construcción de estructuras de concreto (en el apartado 1.6) y el RCDF en los artículos N° 193 y 223; los factores de resistencia tendrán los valores siguientes:

Para flexión valdrá:	0.9
Para cortante y torsión:	0.8

f. Anclaje.

Del apartado 3.1 de las NTCDF se consideró lo que se especifica para el refuerzo transversal o estribos según el apartado 3.1.3 en zapatas de sección constante para lograr el anclaje basta, entre otras formas, suministrar en los extremos de las barras dobleces a 90° seguidos de tramos rectos de longitud no menor que 12 diámetros de la barra. (2.1.5).

g. Recubrimiento:

En elementos estructurales colados contra el suelo, el recubrimiento libre mínimo, además de cumplir con los requisitos anteriores, será de 5 cm. si no se usa plantilla y de 3 cm. si se usa plantilla.

En elementos estructurales que van a quedar expuestos a la intemperie, se duplicarán los valores del párrafo anterior.

Los recubrimientos antes señalados se incrementarán en miembros expuestos a agentes agresivos (ciertas sustancias o vapores industriales, terreno particularmente corrosivo, etc.), eso se especifica en las NTCDF en el apartado 3.4.

h. Separación entre barras de acero de refuerzo.

La separación libre entre barras no será menor que el diámetro nominal de la barra, ni que 1.5 veces el tamaño máximo del agregado.

Cuando el refuerzo de vigas está colocado en dos o más capas, la distancia vertical libre entre capas no será menor que el diámetro de las barras, ni que 2 cm. Las especificaciones anteriores están consideradas basándose en las NTCDF en el apartado 3.6.1.

i. Refuerzos por cambios volumétricos.

Considerando el apartado 3.10 de las NTCDF se tiene que por sencillez, se puede suministrarse un refuerzo mínimo de 0.2 % en elementos estructurales protegidos de la intemperie, y 0.3% en los expuestos a ella, o que estén en contacto con el terreno.

Si la dimensión del miembro medida perpendicular al refuerzo no excede de 15 cm., el refuerzo puede colocarse en una sola capa de lo contrario si es mayor de 15 cm., el refuerzo se colocará en dos capas próximas a las caras del elemento.

j. Espesor mínimo de zapatas de concreto reforzado:

El espesor mínimo del borde de una zapata reforzada será de 15 cm.

k. Obtención de resistencias de diseño

Para efectos del diseño se consideró la hipótesis de las NTCDF del apartado 2.1.1 del cual se desprende que la distribución de esfuerzos de compresión en el concreto alcanza la resistencia uniforme a 0.8 veces la del eje neutro, definiendo el esfuerzo uniforme igual a:

$$0.85f^*c \quad \text{si} \quad f^*c \leq 250 \text{ Kg./ cm}^2$$

e igual a:

$$(1.05 - \frac{f^*c}{1250}) f^*c \quad \text{si} \quad f^*c > 250 \text{ Kg./cm}^2$$

La resistencia determinada con la hipótesis mencionada, multiplicada por el factor F_R correspondiente, da la resistencia de diseño.

1. Diseño por flexión:

Considerando de las NTCDF el apartado 1.1.2 se tiene que para

Refuerzo mínimo:

El área mínima de refuerzo de secciones rectangulares de concreto reforzado, se calculó con la siguiente expresión aproximada.

$$A_{s_{min}} = \frac{0.7\sqrt{f_c}}{f_y} bd$$

Donde b y d son el ancho y el peralte efectivo, no reducidos, de la sección.

Sin embargo, no es necesario que el refuerzo mínimo sea mayor que 1.33 veces el requerido por el análisis.

Refuerzo máximo:

Para el refuerzo máximo a flexión se tomara el siguiente límite

$$A_s = 0.75 \frac{f^*c}{f_y} \frac{4800}{f_y + 6000} bd$$

donde:

$$f^*c = 0.85f^*c \quad \text{si} \quad f^*c \leq 250 \text{ Kg./ cm}^2$$

e igual a:

$$f'c = \left(1.05 - \frac{f^*c}{1250}\right) f^*c \quad \text{si} \quad f^*c > 250 \text{ Kg./cm}^2$$

b y d son el ancho y el peralte efectivo de la sección reducidos de acuerdo con el apartado 1.5 de las NTCDF. El peralte efectivo d, de la sección es la distancia del centroide del acero de tensión a la fibra extrema de compresión.

En otras ocasiones, para determinar el área de acero que corresponde a la falla balanceada, se aplicarán las condiciones de equilibrio y las hipótesis antes mencionadas

m. Fórmulas para calcular resistencias:

Las condiciones de equilibrio y las hipótesis generales de las NTCDF se tienen las siguientes expresiones para resistencias a flexión M_R : En dichas expresiones $F_R = 0.9$.

Secciones rectangulares sin acero de compresión.

$$M_R = F_R b d^2 f'c q (1 - 0.5 q)$$

o bien

$$M_R = F_R A_s f_y d (1 - 0.5 q)$$

donde

b ancho efectivo de la sección

d peralte efectivo

$$f''c = \left(1.05 - \frac{f^*c}{1250}\right) f^*c \leq 0.85 f^*c$$

$$q = \frac{p f_y}{f'c}$$

$$p = \frac{A_s}{b d}$$

donde

A_s : el área del refuerzo de tensión

n. Revisión por fuerza cortante.

Considerando el apartado 2.1.5 de las NTCDF se tiene que para valuar la fuerza cortante que toma el concreto, V_{CR} se tiene que

En elementos anchos como losas, zapatas y muros, en los que el ancho b , no sea menor que cuatro veces el peralte efectivo, d , el espesor no sea mayor de 60 cm. y la relación

$$\frac{M}{Vd}$$

no exceda de 2.0, la fuerza resistente, V_{CR} puede tomarse igual a

$$0.5 F_R b d \sqrt{f^*c}$$

Independiente de la cuantía de refuerzo. Se hace hincapié en el refuerzo para flexión debe cumplir con los requisitos complementarios, es decir, debe estar adecuadamente anclado a ambos lados de los puntos en que cruce a toda posible grieta inclinada causada por la fuerza cortante. Si el espesor es mayor de 60 cm. o la relación $\frac{M}{Vd}$ excede de 2.0, la resistencia a fuerza cortante se valuará con el criterio siguiente:

$$\text{si } p < 0.01 \quad \Rightarrow \quad V_{CR} = F_R b d (0.2 + 30p) \sqrt{f^*c} .$$

$$\text{si } p > 0.01 \quad \Rightarrow \quad V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f^*c} .$$

2.2.3. Capacidad de carga del terreno.

Se puede definir como capacidad de carga la resistencia que tiene el terreno por metro cuadrado de este. Para este tipo de estructura se debe hacer una investigación del subsuelo del sitio mediante exploración de campo y pruebas de laboratorio y con esto deberá ser suficiente para definir la capacidad de carga del terreno de manera confiable. Esta capacidad de carga de los suelos de cimentación se calcula por medio de una mecánica de suelos.

Considerando que algunas veces no se cuente con dicho estudio para un pre-diseño se pueden usar los siguientes parámetros

Capacidad del suelo por tipo (*Ref: Merrit*):

Blanda:	2.69 Ton. / m. ²
Media:	2.69 Ton. / m. ² a 5.38 Ton. / m. ²
Firme:	5.38 Ton. / m. ² a 10.76 Ton. / m. ²
Muy firme:	10.76 Ton. / m. ² a 21.53 Ton. / m. ²
Firme:	mayor a 21.53 Ton. / m. ²

Por las Normas Técnicas Complementarias del D.D.F. la capacidad de carga es:

Para zona I	8 Ton. / m. ²
Para zona II	5 Ton. / m. ²
Para zona III	4 Ton. / m. ²

Para estos hay que tomar en consideración lo que marcan dichas normas

2.2.4. Presiones ejercidas en el terreno.

Debido a las acciones a las que será sometida la zapata, ésta induce al terreno a ciertas presiones de contacto por lo que éstas deben calcularse ya que con la combinación de las acciones antes citadas puede darse el caso que estas presiones sean mayores que la capacidad de carga del terreno, por lo que se debe verificar a través de la ecuación 2.1a y b si el suelo soporta las acciones inducidas (por dilatación de la tubería, por sismo y por cargas gravitacionales) de lo contrario se tendría que tomar las medidas necesarias para que estas presiones resulten menores a la Capacidad de carga del terreno.

Una forma muy sencilla de verificar que las presiones sean permisibles es verificar la excentricidad que causan las cargas y los momentos que debe soportar la zapata y compararla con la excentricidad permisible, si esta es menor que la calculada entonces se puede proceder a calcular la zapata sometida a vuelco por lo que, si se supone una zapata como en la fig. 2.2 con las cargas como se indican. La carga vertical P es la resultante del peso propio de la superestructura, las cargas que actúan sobre la misma, y el peso de toda la infraestructura incluyendo el del terreno que cubre a la zapata. Supóngase que M es el momento de vuelco. Es probable que la presión bajo GH no se distribuya de un modo uniforme, ni que tenga una

variación lineal. Sin embargo, hay seguridad de aceptar estas hipótesis. Por consiguiente puede haber dos variantes del diagrama de presiones.

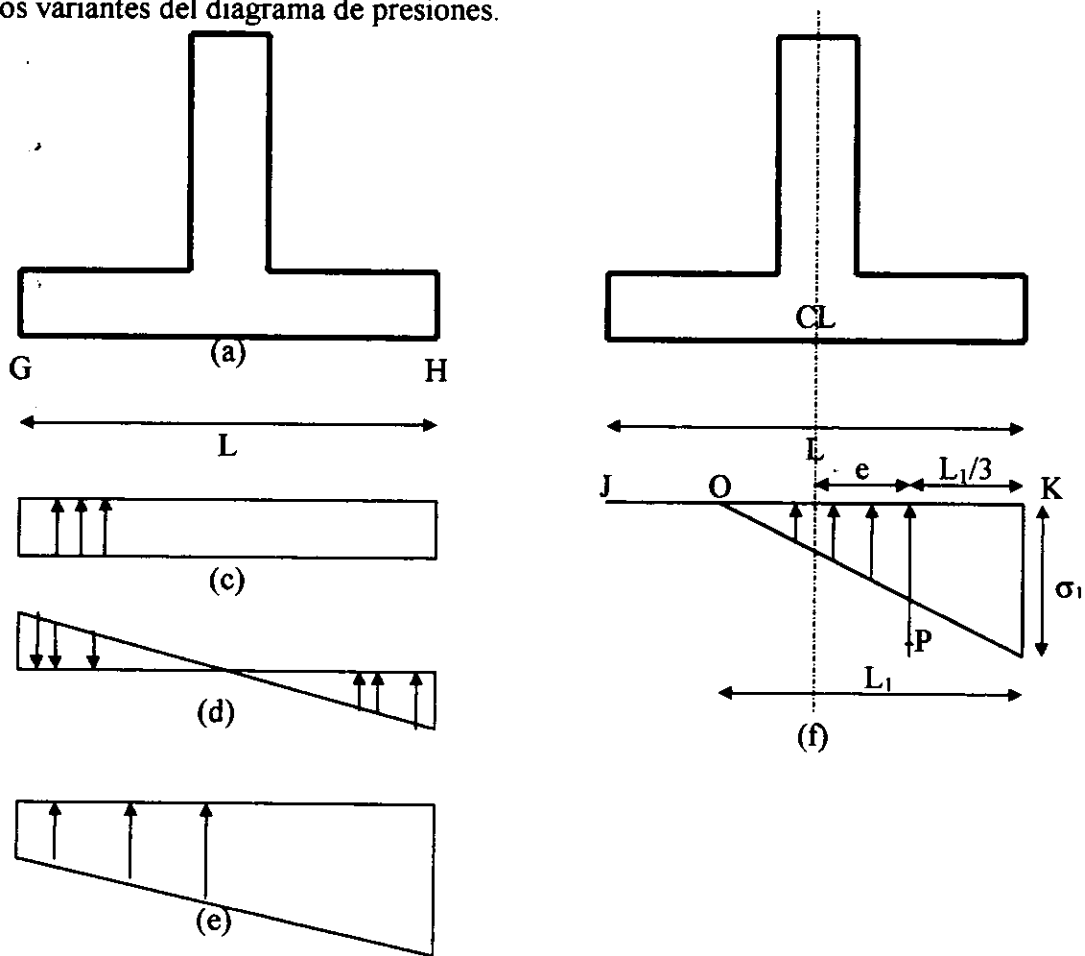


Fig.2.2 Diagrama de Presiones

En primer lugar, llamando B al tramo GH y L a la longitud de la zapata en la dirección normal a B, la presión uniforme a que da lugar la carga P sería:

$$\sigma = \frac{P}{BL} \dots\dots\dots (2.1) a$$

La presión σ' que se supone es debida al momento de vuelco, para el caso de una zapata rectangular, será

$$\sigma' = \frac{My}{I} \dots\dots\dots (2.2) b$$

Donde y es la distancia del centroide de la sección a la fibra extrema

I es el momento de Inercia.

$$\text{Por lo que } S = \frac{y}{I} = \frac{\frac{B}{2}}{\frac{LB^3}{12}} = \frac{LB^2}{6} \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde S es el módulo de sección.

Cuando σ' resulta menor que σ , el diagrama de presiones combinado es el que se representa en la figura 2.2(e). La excentricidad en la base es:

$$e = \frac{M}{P} \dots\dots\dots (2.4)$$

entonces resulta:

$$\sigma_1 = \frac{P}{BL} \left(1 - \frac{6e}{L} \right) \dots\dots\dots (2.1)c$$

$$\sigma_2 = \frac{P}{BL} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) \dots\dots\dots (2.1)d$$

El segundo caso se presenta cuando σ' del croquis d. es superior a σ , la excentricidad es mayor que $\frac{B}{6}$ y la resultante cae fuera del tercio medio central de la zapata en el tramo GH. Como no existe resistencia a tracción del suelo en el extremo J del croquis b, conviene suponer que la distribución de presiones adopta la forma triangular que se representa en el croquis f. La presión máxima en K puede calcularse de la siguiente manera:

$$e = \frac{M}{P}, \text{ como en el caso anterior}$$

Este valor permite situar la reacción resultante - P que estará en el centro de gravedad del diagrama de presiones. Por consiguiente:

$$\frac{L}{2} - e = \frac{B_1}{3} \quad \text{y} \quad B_1 = 3 \left(\frac{L}{2} - e \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\frac{1}{2} \sigma_1 B_1 L = P \quad \text{o sea} \quad \sigma_1 = \frac{2P}{3L \left(\frac{B}{2} - e \right)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Para comprobar la seguridad al vuelco de la zapata (adoptando un coeficiente de seguridad igual al factor de carga correspondiente al caso), se multiplican los momentos de vuelco por el F_c , se calcula el nuevo valor de $e = F_c \frac{M}{P}$ y se determina el nuevo diagrama de presiones que puede ser como el que se representa en el croquis f. El caso más desfavorable será probablemente para el valor mínimo de carga P . Podría pensarse que la zapata ofrece seguridad cuando la resultante $-P$ cae a la izquierda de K en el croquis f, Sin embargo si σ_1 es superior a la capacidad de carga del suelo (lo cual no deberá suceder), el fallo del terreno puede dar lugar a que la zapata falle o a que se incline de forma peligrosa. Incluso siendo σ_1 menor que la carga de falla hay que estudiar la posibilidad de asentamientos diferenciales que puede dar lugar a una inclinación en la estructura hasta tal punto que peligre su seguridad.

2.2.5. Procedimiento de diseño típico.

Los datos mínimos necesarios para poder hacer el diseño de soportes de concreto son los siguientes:

Lugar de la República donde se efectuara el proyecto, tipo de terreno, capacidad de carga del terreno, nivel de piso terminado (NPT), nivel del lecho superior del soporte o mocheta (nivel de la tubería, NLB), número de tubos que soportara la estructura, así como los diámetros de las mismas y su distribución en el soporte (Coordenadas).

Primeramente se hace una tipificación de la cimentación, dependiendo del número de tubos, del diámetro y distribución de estos, esto con el fin de determinar la longitud del cimiento, pero cabe mencionar que este espaciamiento esta en función de las necesidades del rack de tuberías por lo que si no se dispone otra cosa se procederá a hacer la tipificación según los lineamientos generales para este tipo de estructura. En esta etapa se determina la longitud L , que depende del diámetro ϕ de cada una de las tuberías y el número de tubos que van a ser soportados (Rack de tuberías). Por lo que para mayor facilidad a cada soporte se les denomina con una clave para poder ser identificados; la clave agrupa las características del soporte, que es un soporte tipo.

Ejemplo:

SM1, SM2, SM3, etc.

Donde:

SM es el soporte o mocheta

1, 2, 3, etc. es el número que identifica el tipo de soporte

Cabe mencionar que entre los tubos se deja medio diámetro del tubo más grande, entre paño y paño, y entre el paño exterior del tubo extremo y el paño de la cimentación se dejan aproximadamente 0.20 m. Las especificaciones anteriores son producto de la experiencia del personal del departamento de Ingeniería Civil Concreto del IMP, ya que a lo largo de años de experiencia diseñando este tipo de estructuras han visto que estos son buenos estándares de diseño.

Por lo que la longitud de la mocheta se expresa de la siguiente manera:

$$\therefore L = \phi_s + \frac{1}{2} \phi_g (\text{No. de tubos} - 1) + (0.20 \text{ m.}) (2) \dots \dots \dots (2.7)$$

Donde

ϕ_s : cada uno de los diámetros que soporta la mocheta (m.)

ϕ_g : el diámetro del tubo más grande (m.)

Posteriormente se procede a calcular la carga de diseño, la cual es la carga P de la tubería a tubo lleno de agua, de apoyo a apoyo entre el espacio de tuberías más el diámetro del tubo más grande. Lo anterior se puede resumir en lo siguiente:

$$\varpi = \frac{\text{Peso tubería a tubo lleno} \times \text{Longitud de apoyo a apoyo} \times \text{No de tubos}}{L} = \text{Ton} / \text{m.} \dots (2.8)$$

$$P = \varpi \cdot L \dots \dots \dots (2.9)$$

P es la carga total que soportará la zapata en toneladas.

Se proponen dimensiones como las siguientes: nivel de desplante, peralte de la zapata, cuidando que cumplan con los requisitos mínimos.

Para determinar el ancho de la contratrase se pueden utilizar las siguientes dimensiones:

Para diámetros de 3" a 10" a = 20 cm.

Para diámetros de 12" a 48" a = 30 cm.

Una vez que se tiene la carga de diseño se procede a calcular las fuerzas y momentos debidos a acciones tanto permanentes como accidentales que pueden ocurrir a lo largo de la vida de la cimentación, estas acciones son:

Para las permanentes las producidas por los cambios de temperatura y son fuerzas y momentos de dilatación.

La fuerza de dilatación se obtiene multiplicando P por 0.30 que es un factor que transmite un porcentaje de la fuerza de dilatación a la cimentación. El momento producido por esta fuerza se obtiene multiplicando esta por su brazo de palanca Bp, que en el caso de soportes es igual a H, ya que se le permite el desplazamiento a la tubería en el sentido longitudinal, por lo tanto la tubería esta apoyada en forma libre sobre el soporte. Por lo que la fuerza es transmitida por el desplazamiento de la tubería en la parte superior de la contratrabe. El factor 0.3 es el coeficiente estático de fricción entre el acero de la placa base y el acero de la tubería; se considero este coeficiente ya que es el más desfavorable ya que romper el equilibrio estático es la situación más crítica.

Y para las accidentales las debidas a las fuerzas sísmicas; para obtener la fuerza el cortante sísmico se emplea lo siguiente:

$$F = \frac{C}{Q} W_{tubería} \dots\dots\dots(2.10)$$

Para el momento por sismo, se sigue el mismo procedimiento que para la obtención del momento debido a la fuerza de dilatación.

Una vez que se tienen los datos anteriores se propone una base que cumpla con los requisitos, y reglamentos antes descritos, esta dimensión es propuesta por el diseñador en base a su experiencia, y se procede a analizar las fuerzas tanto de las acciones antes descritas aumentando el peso propio de la estructura y de los materiales de relleno, las combinaciones de las acciones permanentes, accidentales con el peso de la estructura más el de rellenos, a este análisis se le llama presiones de contacto inducidas al terreno, estas presiones deben ser menores que la capacidad de carga del terreno ya que de lo contrario el terreno no soportara dichas acciones y se podría provocar el volteo de la estructura.

En caso de que la presión de contacto sea mayor que la capacidad de carga del terreno se procederá a aumentar el ancho de la cimentación. Por el contrario hay que verificar que el diagrama resultante de las presiones de contacto cumpla con lo descrito en el apartado 2.3.2. y 2.3.4.

Posteriormente con el diagrama de presiones más desfavorable de todas las combinaciones se calculan los cortantes y momentos de diseño para la zapata a una distancia $\frac{d}{2}$ del paño de la zapata.

Una vez que se tienen todas las acciones calculadas se procede a diseñar la zapata por lo que se calculan las constantes de diseño de acuerdo a la especificaciones del apartado 2.3.2. que son:

$$f^*c = 0.8 f'c \dots\dots\dots(2.11)$$

$$f^*c = 0.85f^*c \quad \text{si} \quad f^*c \leq 250 \text{ Kg./ cm}^2 \dots\dots\dots(2.12)a$$

e igual a:

$$f^*c = (1.05 - \frac{f^*c}{1250}) f^*c \quad \text{si} \quad f^*c > 250 \text{ Kg./cm}^2 \dots\dots\dots(2.12)b$$

Se calcula q mediante:

$$M_R = F_R b d^2 f^*c q (1 - 0.5 q) \dots\dots\dots(2.13)$$

Sustituyendo q en:

$$p = q \frac{f'c}{f_y} \dots\dots\dots(2.14)$$

y procurando que p este dentro de los siguientes límites:

$$p_{max} = 0.75 \frac{f'c}{f_y} \frac{4800}{6000 + f_y} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$p_{min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y} \dots\dots\dots(2.16)$$

Si no se tiene que:

$$\text{Si } p < p_{min} \quad \therefore p_{min}$$

Si $p > p_{max}$ $\therefore p$

Se revisa por fuerza cortante

si $p < 0.01 \Rightarrow V_{CR} = F_R bd (0.2 + 30p) \sqrt{f^*c} \dots\dots(2.17)$

si $p > 0.01 \Rightarrow V_{CR} = 0.5 F_R bd \sqrt{f^*c} \dots\dots(2.18)$

En caso de que no se cumpla se procederá a proponer otro peralte en la zapata y se repite el proceso. Pero si el diseño cumple con las condiciones antes descritas entonces se calcula el área de acero para la sección.

$A_s = pbd \dots\dots\dots(2.19)$

Separación de varillas:

$Sep = \frac{100 a_s}{A_s} \dots\dots\dots(2.20)$

Para el acero por temperatura se tiene:

$A_{S_{temp}} = 0.003 bd \dots\dots\dots(2.21)$

Número de varillas:

$N_o = \frac{A_s}{a_s} \dots\dots\dots(2.22)$

Para el diseño de la contratrabe

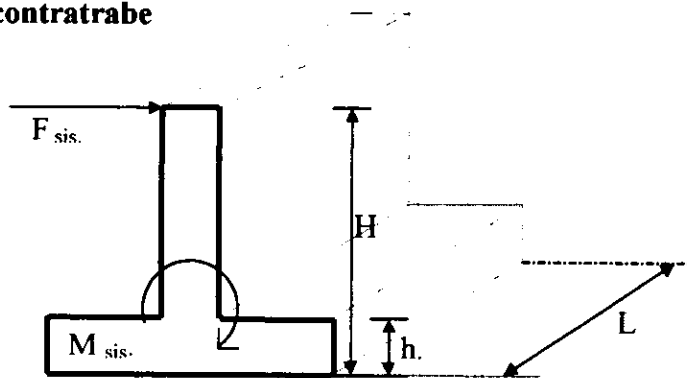


Fig. 2.3. Momentos y cortantes debidos a sismo

Para el acero principal se arma por la cuantía mínima por flexión:

$p_{min.} =$ ecuación No 2.16

$\therefore A_s = p_{min.} bd \dots\dots\dots(2.23)$

Para el acero por temperatura se tiene:

A_s = ecuación No 2.21

Para diseñar el refuerzo para fuerzas laterales o para momentos inducidos a la contratrabe se utilizan las mismas ecuaciones y fórmulas que para el diseño de la zapata; sólo que el momento es debido a la acción más desfavorable y las dimensiones son de la contratrabe, en el sentido paralelo a la fuerza.

$$M_{\text{sis o dl}} = F_R b d^2 f' c q (1 - 0.5 q) \dots \dots \dots (2.24)$$

se repiten los pasos desde la ecuación 2.14 a la 2.18

En caso de que no se cumpla ya sea la ecuación 2.17 o 2.18 según el caso se procederá a proponer otro peralte en la zapata y se repite el proceso para la contratrabe. Pero si el diseño cumple con las condiciones antes descritas entonces se calcula el área de acero para la sección y se repiten los pasos desde la ecuación 2.19 a la 2.22

2.3. Ejemplo numérico.

Se presenta a continuación un ejemplo de diseño de un soporte.

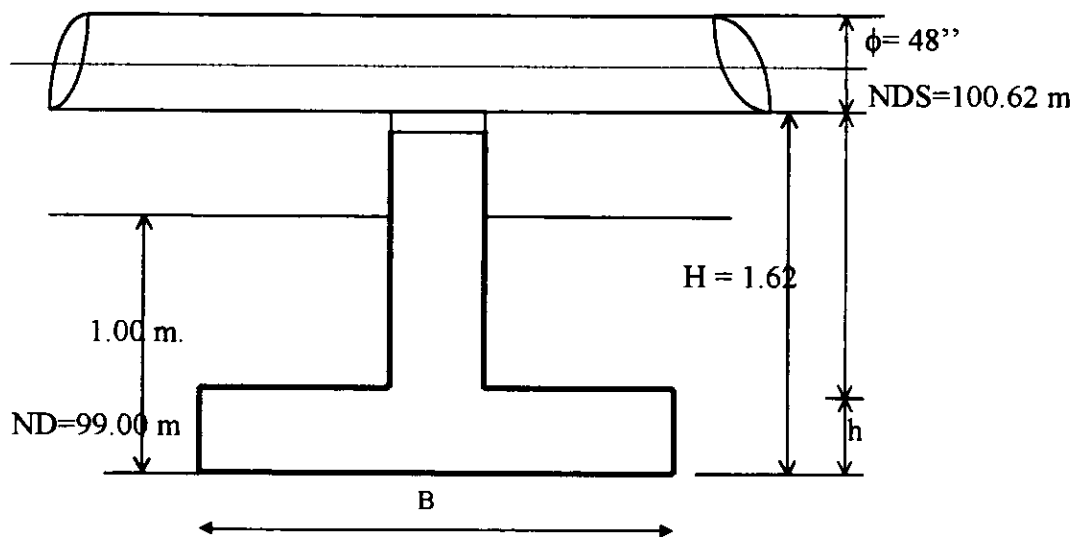


Fig. 2.4. Croquis de la Estructura

El soporte tiene los datos del proyecto y son los siguientes:

RT =	15 Ton./m ²	Tipo de estructura =	A	Q =	1
γ =	1.7 Ton/m ³	C.I. =	1.5	f_c =	250 Kg./cm. ²
Zona sísmica =	B	CS =	0.3	f_y =	4200 Kg./cm. ²
φ =	48''	No de tubos =	2	a =	0.30 m.
Cedula del tubo =	40				

Tabla 2.4. Datos de proyecto

El proyecto se llevara a cabo en el estado de Tabasco por lo que se considera la zona sísmica **B**, según el manual de diseño por sismo de la Comisión Federal de Electricidad. (Ver la fig. No. 2.1)

El soporte para este ejemplo tendrá un Rack compuesto de **2 tuberías de 48''** de diámetro, estará ubicado según la mecánica de suelos en un terreno del tipo II con una capacidad de carga **R_t=15 Ton./m²**, por lo que de esta sollicitación se deriva que el **C_s = 0.3**, además como se menciono antes este coeficiente se multiplicará por el **CI.**, ya que es una estructura del **tipo A**.

Como la estructura servirá para transportar hidrocarburos se debe entonces considerar un **Q = 1** por que es una cimentación y no entra en los casos mencionados por las Normas Técnicas Complementarias por Sismo al Reglamento del Construcciones del D.F., así como las especificaciones del Manual de Obras Civiles de la C.F.E.. Y considerando un ancho de contratrase **a = 0.30 m**. Como ya se mencionó anteriormente se hace la tipificación de los soportes por lo que queda de la siguiente manera:

* *Cálculo del ancho necesario para el Rack:*

$$48'' = 1.20 \text{ m.}$$

$$1/2\phi = 0.60 \text{ m.}$$

Usando la ec. 2.7 se tiene:

$$\therefore L = 2(1.20) + .60 + 2(0.20) = 3.40 \text{ m.}$$

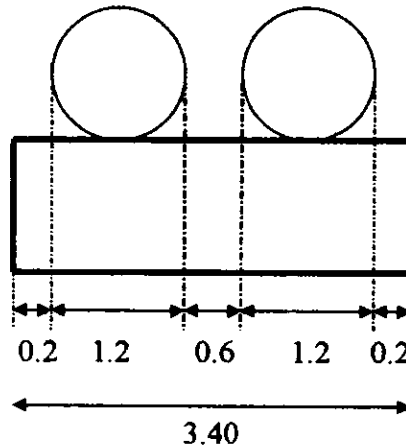


Fig. 2.5. Longitud del soporte

Cálculo del peso total que transmitirá la zapata:

$$W_{\text{tubería + agua}} = 1667 \text{ Kg. / m. (ver tabla de pesos. Anexo 1)}$$

Considerando una separación entre apoyos de 7 m. se tiene de acuerdo a la ec. 2.8 y 2.9:

$$\omega = \frac{(1.667 \text{ Ton. / m.})(7 \text{ m.})(2 \text{ tubos})}{3.40 \text{ m.}} = 6.86 \text{ Ton. / m.}$$

$$\therefore P = (6.86 \text{ Ton. / m.})(3.40 \text{ m.}) = 23.34 \text{ Ton.}$$

* *Cálculo de la fuerza y momentos debidos a la dilatación.*

$$F_{\text{dil}} = 0.3 (23.34 \text{ Ton.}) = 7.00 \text{ Ton.}$$

$$M_{\text{dil}} = 7.00 \text{ Ton.} (1.62 \text{ m.}) = 11.34 \text{ T.} \cdot \text{m}$$

$$F_u = F.c. \cdot F_{\text{dil}} = 1.5 (7.00) = 10.5 \text{ Ton.}$$

$$M_u = F.c. \cdot M_{\text{dil}} = 1.5 (11.34) = 17.01 \text{ Ton.} \cdot \text{m.}$$

* *Cálculo del cortante y momentos debidos al sismo:*

Usando la ecuación 2.10

Pero:

$$C = C.S \cdot C.I. = 0.3 (1.5) = 0.45$$

$$\therefore F_{\text{sis}} = 0.45 (23.34 \text{ Ton.}) = 10.50 \text{ Ton.}$$

$$\text{y } M_{\text{sis}} = 10.50 \text{ Ton.} (1.62 \text{ m.}) = 17.01 \text{ T.} \cdot \text{m.}$$

$$F_u = F_{ca} \cdot F_{dii} = 1.1 (10.50) = 11.55 \text{ Ton.}$$

$$M_u = F_{ca} \cdot M_{dii} = 1.1 (17.01) = 18.71 \text{ Ton.} \cdot \text{m.}$$

Por lo anterior se considera la condición de sismo la más desfavorable.

* *Proponiendo las siguientes dimensiones para la zapata*

$$B = 2.60 \text{ m.}$$

$$h = 0.30 \text{ m.}$$

$$a = 0.30 \text{ m.}$$

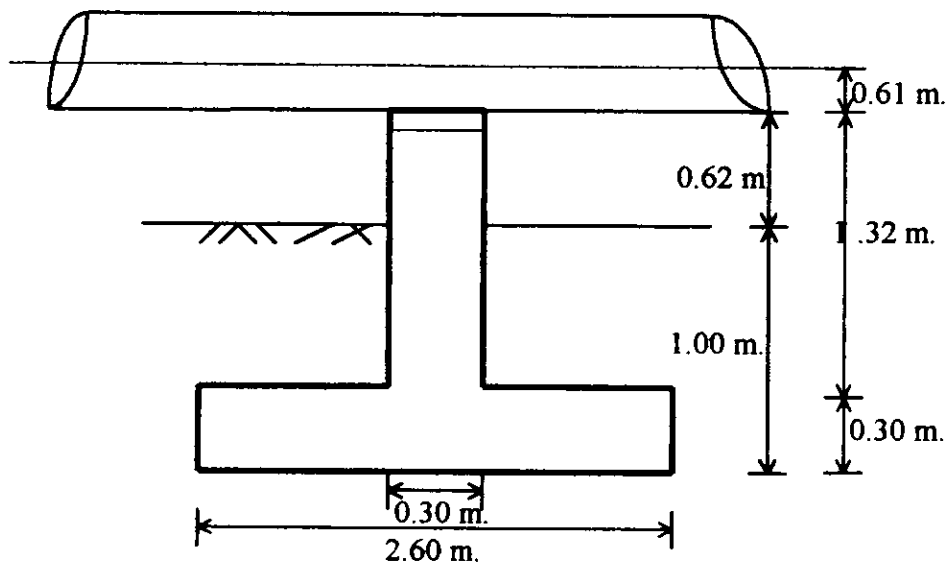


Fig. 2.6. Dimensiones propuestas

* *Se calcula P total*

$$P_{\text{Total}} = P + P_1 + P_2 + P_3$$

$$P = 23.34 \text{ Ton.}$$

$$P_R = (2.60 - 0.3) (0.7) (3.40) (1.7) = 9.30 \text{ Ton.}$$

$$P_C = [(1.62) (0.30) + (2.60 - 0.30)] (3.40) (2.40) = 9.60 \text{ Ton.}$$

$$P_{\text{total}} = 42.14 \text{ Ton.}$$

Área de contacto de la cimentación:

$$A = 8.84 \text{ m.}^2$$

Módulo de sección (ec. 2.3):

$$S = 3.83 \text{ m}^3$$

* *Cálculo de la presión de contacto debida a la fuerza de dilatación:*

Usando la ec. 2.2 a y b se tiene:

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

$$\sigma_1 = 7.73 \text{ T./m.} \cdot 1.5 = 11.59 \text{ Ton. / m.} < 15 \text{ Ton. / m.}$$

$$\sigma_2 = 1.81 \text{ T./m.} \cdot 1.5 = 2.71 \text{ Ton. / m.} < 15 \text{ Ton. / m.}$$

* *Cálculo de la presión de contacto debida la fuerza del sismo:*

Usando la ec. 2.2 a y b se tiene:

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

$$\sigma_1 = 9.21 \text{ T./m.} \cdot 1.1 = 10.13 \text{ Ton. / m.} < 15 \text{ Ton. / m.}$$

$$\sigma_2 = 0.32 \text{ T./m.} \cdot 1.1 = 0.36 \text{ Ton. / m.} < 15 \text{ Ton. / m.}$$

* *Cálculo de la excentricidad actuante y permitida de las condiciones más desfavorables:*

$$e_{act} = \frac{M}{P} = \frac{17.01 \text{ Ton.} \cdot \text{m.}}{42.14 \text{ Ton.}} = 0.40 \text{ m.}$$

$$e_{perm} = \frac{B}{6} = \frac{2.60 \text{ m.}}{6} = 0.433 \text{ m.}$$

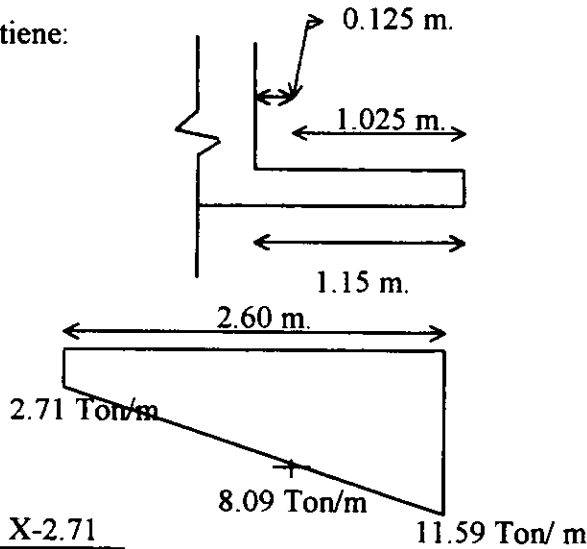
$e_{act} < e_{perm}$ En caso contrario se deberá calcular σ'

* *Cálculo de las fuerzas y momentos actuantes en la zapata*

Tomando en consideración la presión de contacto más desfavorable de las condiciones antes analizadas se tiene que se diseñará con la presión debidas a la fuerza de dilatación:

$$\sigma_1 = 11.59 \text{ Ton. / m.}^2$$

Calculando el momento y las fuerzas actuantes a una distancia $d/2$ del paño de la contratrabe se tiene:

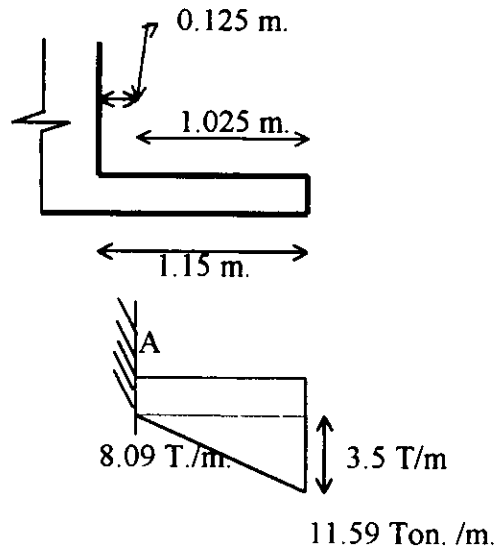


$$\frac{11.59 - 2.71}{2.60} = \frac{X - 2.71}{2.60 - 1.025}$$

$$X = \frac{(11.59 - 2.71) * (2.60 - 1.025)}{2.60} + 2.71$$

∴ $X = 8.09 \text{ Ton. / m.}$

Considerando la carga como un trapecio se tiene:



$$M_A = 8.08 \frac{(1.025)^2}{2} + (11.59 - 8.09) \frac{(1.025)^2}{3} = 5.47 \text{ Ton.} \cdot \text{m.}$$

$$V_{\max} = 8.09 (1.025) + (11.59 - 8.09) \frac{1.025}{2} = 10.09 \text{ Ton.}$$

Diseño de la zapata

Para el cálculo de las constantes se aplica lo siguiente:

$$f'c = 250 \text{ Kg. / cm.}^2$$

$$f^*c = 200 \text{ Kg. / cm.}^2$$

$$f'c = 170 \text{ Kg. / cm.}^2 \text{ porque } 250 \text{ Kg./cm.}^2 \geq f^*c$$

* *Diseñando por flexión se tiene que:*

Utilizando la ecuación 2.13 y sustituyendo los valores se tiene una ecuación de segundo grado:

$$4781250 q^2 - 9562500 q + 547000 = 0$$

Resolviendo y sustituyendo q en la ecuación 2.14

$$q_1 = 0.058939 \quad \therefore p_1 = 0.002386$$

$$q_2 = 1.94106 \quad \therefore p_2 = 0.07857$$

Pero el rango de la cuantía de acero es para:

$$p_{\min} = 0.0026 \dots \dots \dots (\text{ver ec 2.15})$$

$$p_{\max} = 0.014 \dots \dots \dots (\text{ver ec. 2.16})$$

por lo que de los resultados anteriores se decide que se diseñará con la cuantía de acero mínima.

Entonces el área de acero queda de la siguiente manera (ec. 2.19):

$$A_s = 0.0026(100 \text{ cm.}) (25 \text{ cm.}) = 6.5 \text{ cm.}^2$$

Revisión por cortante:

Ya que la cuantía de acero es menor al 1% se revisa con la ecuación 2.17:

$$V_{CR} = 0.8 (100) (25) [0.2 + (30)(0.0026)] \sqrt{200} = 7863.02 \text{ Kg.}$$

$$7.86 \text{ Ton.} < 10.09 \text{ Ton.} \quad V_{CR} < V_{act}$$

Por lo que la sección no es correcta, ahora se trata de encontrar la cuantía de acero para la fuerza cortante actuante:

$$10090 = 0.8 (100) (25) [0.2 + 30p] \sqrt{200}$$

$$p = 0.0052$$

$$A_s = 0.0052 (100 \text{ cm.}) (25\text{cm.}) = 13.00 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Sep.} = \frac{100(1.99)}{13} = 15.30 \text{ cm.}$$

Ajustando a 15 cm la separación del acero principal y usando varillas del número 5 (as = 1.99 cm² ver tabla de varillas) se tiene:

$$A_s = \text{ecuación No 2.19}$$

$$\text{pero } p = \text{ecuación No 2.14}$$

$$\text{Sep.} = \text{ecuación No 2.20}$$

$$15 \text{ cm.} = \frac{100(1.99)}{A_s}$$

$$A_s = 13.27$$

$$p = \frac{13.27}{100\text{cm.} (25\text{cm.})} = 0.0053$$

Revisando nuevamente por cortante:

$$V_{CR} = 0.8 (100) (25) [0.2 + (30)(0.0053)] \sqrt{200} = 10154 \text{ Kg.}$$

$$10.15 \text{ Ton.} > 10.09 \text{ Ton.} \quad V_{CR} > V_{act}$$

Por lo tanto que la sección es correcta

$$\text{No de varillas/ m.} = \frac{13.27}{1.99} = 6.7 \text{ varillas}$$

Cálculo del acero por temperatura:

$$A_{s_{temp}} = 0.003 (130-15) (25) = 8.63 \text{ cm.}^2$$

Considerando varillas del número 5:

$$\text{No de varillas} = \frac{8.63}{1.99} = 4.33 \text{ varillas} \approx 5 \text{ varillas}$$

$$\text{Sep.} = \frac{1.15 \text{ m.}}{5 \text{ varillas}} = 23 \text{ cm.}$$

Diseño de la contratrabe:

Considerando para la fuerza lateral

por dilatación se tiene: $V_{dil.} = 1.5 (7.00 \text{ Ton.}) = 10.50 \text{ Ton.}$

por sismo se tiene: $V_{sis.} = 1.1 (10.50 \text{ Ton.}) = 11.55 \text{ Ton.}$

Y para el momento

por dilatación: $M_{dil.} = 1.5 (11.34 \text{ Ton. m.}) = 17.01 \text{ Ton. m}$

por sismo: $M_{sis.} = 1.1 (17.01 \text{ Ton. m.}) = 18.71 \text{ Ton. m.}$

Por lo tanto se toma el más desfavorable.

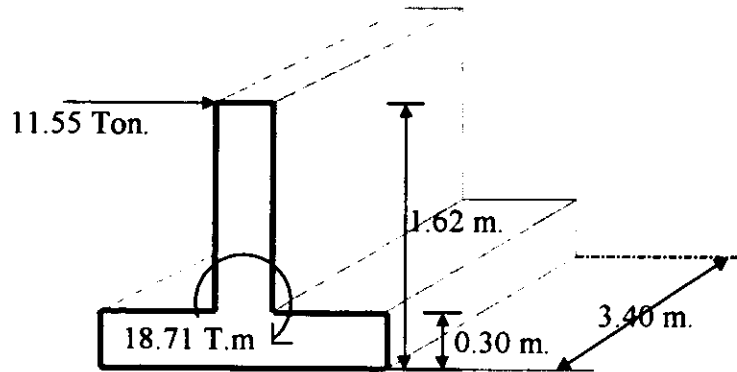


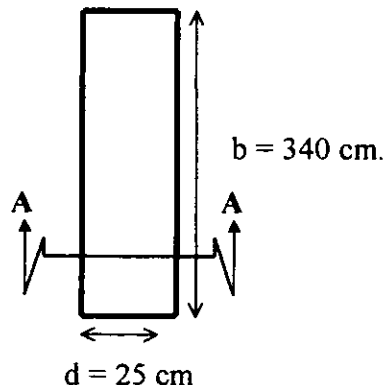
Fig.2.7. Acciones Desfavorables

Y considerando las condiciones más desfavorables se tiene que:

$M_u = 18.71 \text{ Ton.}\cdot\text{m.}$ y

$V_u = 11.55 \text{ Ton.}$

Por flexión y considerando la sección de la siguiente manera:



PLANTA DE LA CONTRATRABE

sustituyendo los valores en la ecuación 2.13 se tiene una ecuación de segundo grado:

$$16256250 q^2 - 32512500 q + 1871000 = 0$$

Resolviendo y sustituyendo q en la ecuación 2.14

$$q_1 = 0.0593057 \therefore p_1 = 0.0024$$

$$q_2 = 1.9406943 \therefore p_2 = 0.078$$

Pero el rango de la cuantía de acero es para:

$$p_{\min} = 0.0026$$

$$p_{\max} = 0.014$$

por lo que se desprende de los resultados anteriores que la cuantía de acero a considerar en el diseño es de $p_{\min} = 0.0026$

Revisión por cortante:

Ya que la cuantía de acero es menor al 1% se revisa con la ecuación 2.17:

$$V_{CR} = 0.8 (340) (25) [0.2 + (30)(0.0026)] \sqrt{200} = 26734.29 \text{ Kg.}$$

$$26.73 \text{ Ton} > 11.55 \text{ Ton} \quad V_{CR} > V_{act}$$

Por lo que la sección esta correcta para el cortante por sismo.

Entonces el área de acero queda de la siguiente manera:

$$A_s = 0.0026 (340 \text{ cm.})(25 \text{ cm.}) = 22.1 \text{ cm.}^2$$

Usando varillas del número 5 se tiene:

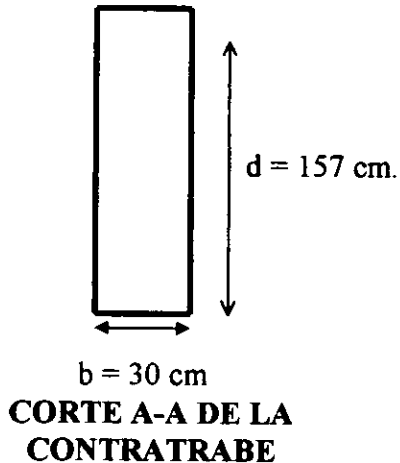
$$\text{No de varillas/ m.} = \frac{22.1 \text{ cm.}^2}{1.99 \text{ cm.}^2} = 11.10 \text{ varillas} \approx 11 \text{ varillas}$$

La separación entre varillas es:

$$\text{Sep.} = \frac{340 \text{ cm} (1.99 \text{ cm.}^2)}{22.1 \text{ cm.}^2} = 30.61 \text{ cm.} = 30 \text{ cm.}$$

$$\therefore \# 5. @ 30 \text{ cm.}$$

Considerando para el armado principal que la contratrabe sólo transmite los esfuerzos al terreno, se tiene que ésta está en equilibrio por lo que se diseña por cuantía mínima por flexión y la sección es la siguiente:



La cuantía mínima por flexión está expresada por la expresión 2.16

$$p = 0.002635$$

$$\therefore A_s = 0.002635 (30) (157) = 12.41 \text{ cm.}^2$$

Empleando varillas del número 6 ($a_s = 2.87 \text{ cm}^2$ ver la tabla de varillas) se tiene:

$a_s = 2.87 \text{ cm.}^2$ para una varilla de dicho número.

$$\text{No. de varillas} = \frac{12.41 \text{ cm.}^2}{2.87 \text{ cm.}^2} = 4.32 \text{ var.} \approx 5 \text{ varillas}$$

Cálculo del acero por temperatura:

$$A_{s_{temp}} = 0.003 (25) (157) = 14.13 \text{ cm.}^2$$

Considerando varillas del número 6:

$$\text{No. de varillas} = \frac{14.13}{2.87} = 4.9 \text{ varillas} \approx 5 \text{ varillas}$$

La sección de la zapata y el armado de la misma es el siguiente:

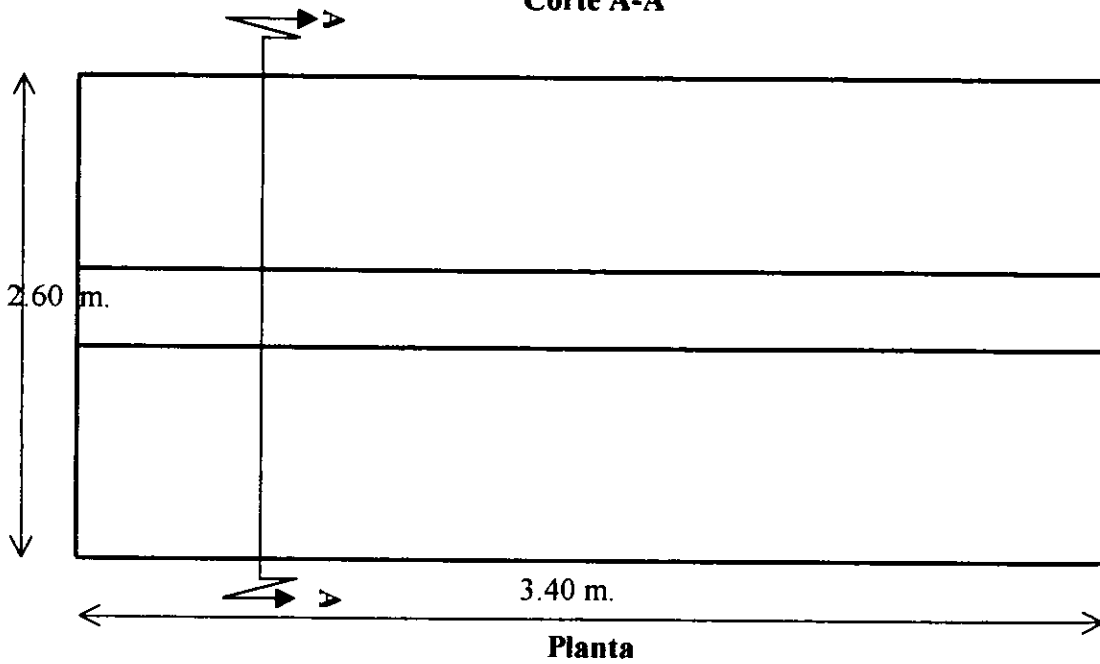
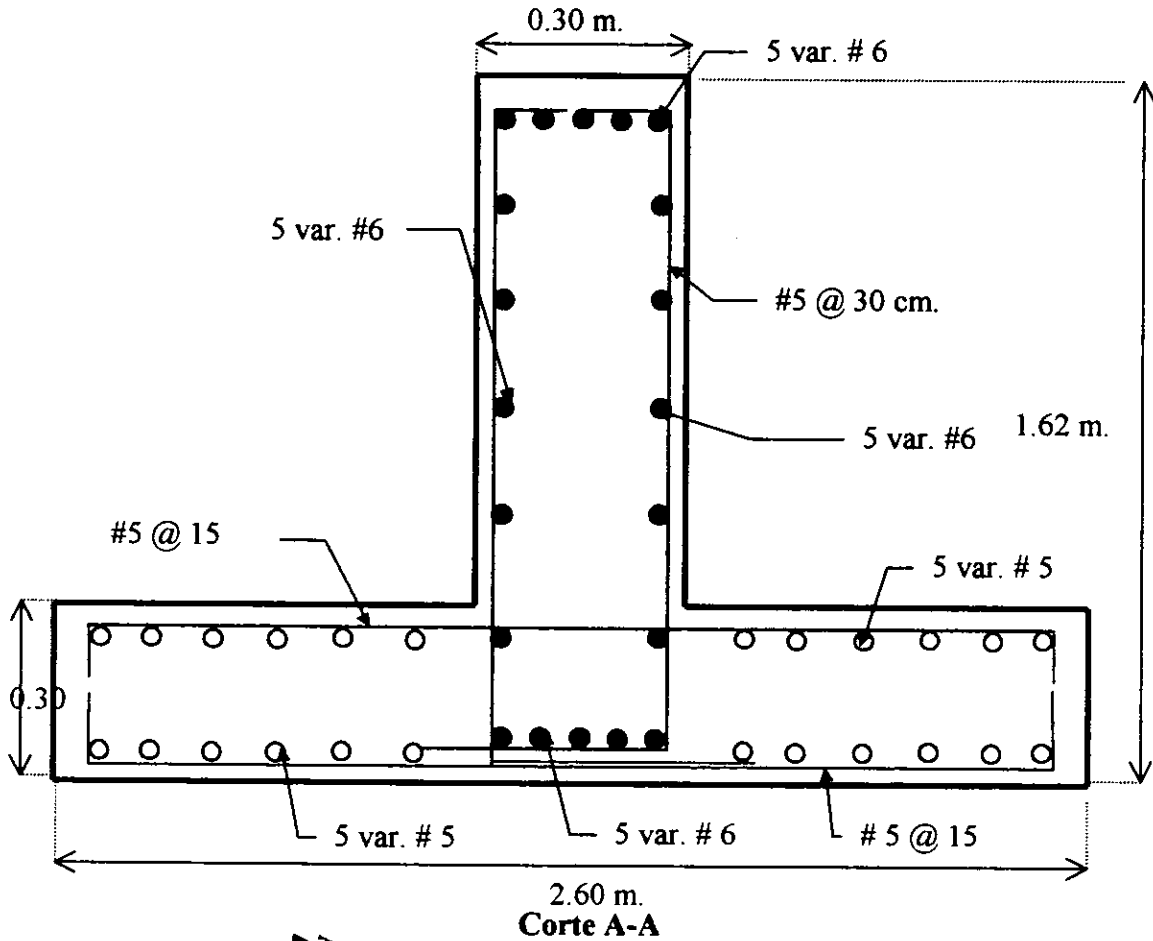


Fig.2.8. Diseño final.



CAPÍTULO 3

SISTEMA EXPERTO DE DISEÑO.

3.1. Introducción.

El Ingeniero Civil hablando del Ingeniero estructural particularmente, tiene la capacidad de llevar a cabo diferentes tareas dentro de su profesión para resolver las situaciones y problemas de estructura a las que se enfrenta. Antes de tratar de resolver el problema se tiene que analizar el estado o condición, o sea, hacer un diagnóstico; después de identificarla, se determina cual será el flanco de ataque del mismo o que estrategia es la más adecuada a la situación inicial y seleccionar de esta manera que herramientas son las adecuadas para analizar el problema, tomando en consideración el tiempo, el costo y la precisión de la respuesta. Finalmente se interpretan estos resultados en forma de elementos mecánicos de la propia estructura.

Una vez que se tienen los datos anteriores se procede a hacer una planeación del diseño, en cuanto tiempo se estima terminar la etapa de diseño y en cuanto tiempo se llevaría la construcción y la determinación de los requisitos de acuerdo a él, terminar la construcción y en que condiciones, de acuerdo a las especificaciones del diseñador, ya que el diseño afecta directamente a la construcción.

El objetivo del diseño de una estructura es satisfacer una necesidad previa pero este diseño a su vez tiene que satisfacer las condiciones para las que va a ser construida, esto quiere decir que debe soportar las acciones externas ya analizadas en forma de elementos mecánicos, como se mencionó anteriormente, y cumplir con los requisitos de resistencia, servicio y operación; así pues el resultado final del diseño será: las dimensiones, los materiales así como la localización de la estructura.

Para poder llevar a cabo esta actividad el Ingeniero debe estar capacitado con conocimientos de Física (como estática, resistencia de materiales, etc.) y Matemáticas (como resolución de ecuaciones, derivadas, etc.), a estas ciencias se les llaman conocimientos básicos, y explican la naturaleza en función de modelos ya sean físicos o matemáticos, si el ingeniero no tuviera estos conocimientos no podría entenderla y a su vez no entendería las acciones y respuestas propias de la estructura, por lo tanto no podría desempeñar su papel de ingeniero. Pero no todos los modelos matemáticos y físicos existentes hoy en día cubren todos los fenómenos de la naturaleza, por lo que se requiere algunas veces de experimentos que comprueben hipótesis formuladas con anterioridad, o puede ser que ni siquiera existan hipótesis por lo que es necesario primero formular una de acuerdo al problema y posteriormente experimentar basados en las leyes naturales conocidas; finalmente al comprobar una hipótesis, se llega a los modelos analíticos que no son otra cosa que modelos matemáticos que explican la naturaleza de algún fenómeno, (en nuestro caso el comportamiento de estructuras) de lo contrario se desecha la hipótesis y se trata algo nuevo.

Además de los conocimientos antes mencionados en Ingeniería Civil se tienen representaciones numéricas de los modelos analíticos, esto quiere decir que son técnicas numéricas o algorítmicas que resuelven ecuaciones diferenciales, lo que hacen es dividir la función en número finito de partes que tienen la solución y finalmente volver a unirlos para obtener la solución final, a esto se le llama discretización. Otra representación de conocimiento es el heurístico, dentro de éste se tienen los criterios, los conocimientos basados en la experiencia o empíricos, los modelos experimentales, etc.

La aplicación de la computación en ingeniería estructural ha tenido éxito, se tienen programas generales como el método de los elementos finitos, así como programas particulares que resuelven problemas más específicos en las áreas de análisis estructural. Pero estos programas son algorítmicos y desafortunadamente no contemplan criterios basados en la experiencia del Ingeniero, por lo que se ha tenido que recurrir a otras metodologías que cumplan con las exigencias contemporáneas.

Hablando de Ingeniería estructural el diseño es la conjunción de conocimientos tanto formales como heurísticos y muchas veces el criterio del Ingeniero es muy importante en la toma

de decisiones; lamentablemente la programación tradicional no satisface una solución integral al diseño. Una solución integral es la conjunción de los documentos que validan el diseño de una estructura, pero los programas algorítmicos no satisfacen las necesidades buscadas.

Los SE basados en conocimientos conjuntándolos con la programación algorítmica o tradicional y el diseño asistido por computadora superan ahora las limitaciones de los programas algorítmicos. Ya sabemos que el diseño de una estructura es la conjunción de diversos conocimientos tanto formales como heurísticos, así como de la normatividad aplicable al caso. Hoy en día los SE son más efectivos en áreas donde el juicio y la experiencia juega un importante papel como lo es la Ingeniería Civil (Adeli 1988).

3.2. Estructura del sistema experto.

La arquitectura del SE llamado SEDIS (Sistema Experto de Diseño de Soportes) que se trata en esta tesis, es en su esencia igual a la arquitectura presentada en la figura 1.1 del Capítulo No. 1 pero, ésta sólo es la parte central del sistema y no proporciona salidas adecuadas a las necesidades ingenieriles. Por lo tanto se le adicionaron algunos conceptos nuevos a la arquitectura existente, para que los propósitos y objetivos buscados como lo son: el análisis, diseño y la generación de salidas convenientes; se cumplieran. El SE integra el conocimiento ingenieril y computacional para desarrollar un análisis y diseño adecuados a las necesidades y requerimientos de funcionalidad, servicio y seguridad; así mismo efectúa la generación de documentos necesarios como los planos, la memoria de cálculo y la cuantificación; por lo anterior a la estructura del SE se le tuvieron que adicionar módulos para cumplir con los objetivos buscados, ya que las herramientas disponibles en la actualidad no contemplan en conjunto procesos numéricos, lógicos, heurísticos, toma de decisiones, una interfaz amigable, y salidas gráficas adecuadas por lo que el SE se conformó por diferentes módulos y estos están contruidos a su vez de diferentes partes como se muestra:

- El Módulo Principal, esta contruido por la Interfaz con el usuario, Análisis y Diseño, Bitácora de trabajo y Módulo de ayuda

- El Núcleo del sistema, está construido por el Motor de inferencia, la Base de conocimientos, la Adquisición de conocimientos y el Módulo de explicaciones
- Emisión de la documentación final asistida por computadora como la Memoria de cálculo, la Cuantificación, y los Planos.

A continuación se muestra la arquitectura correspondiente del SE:

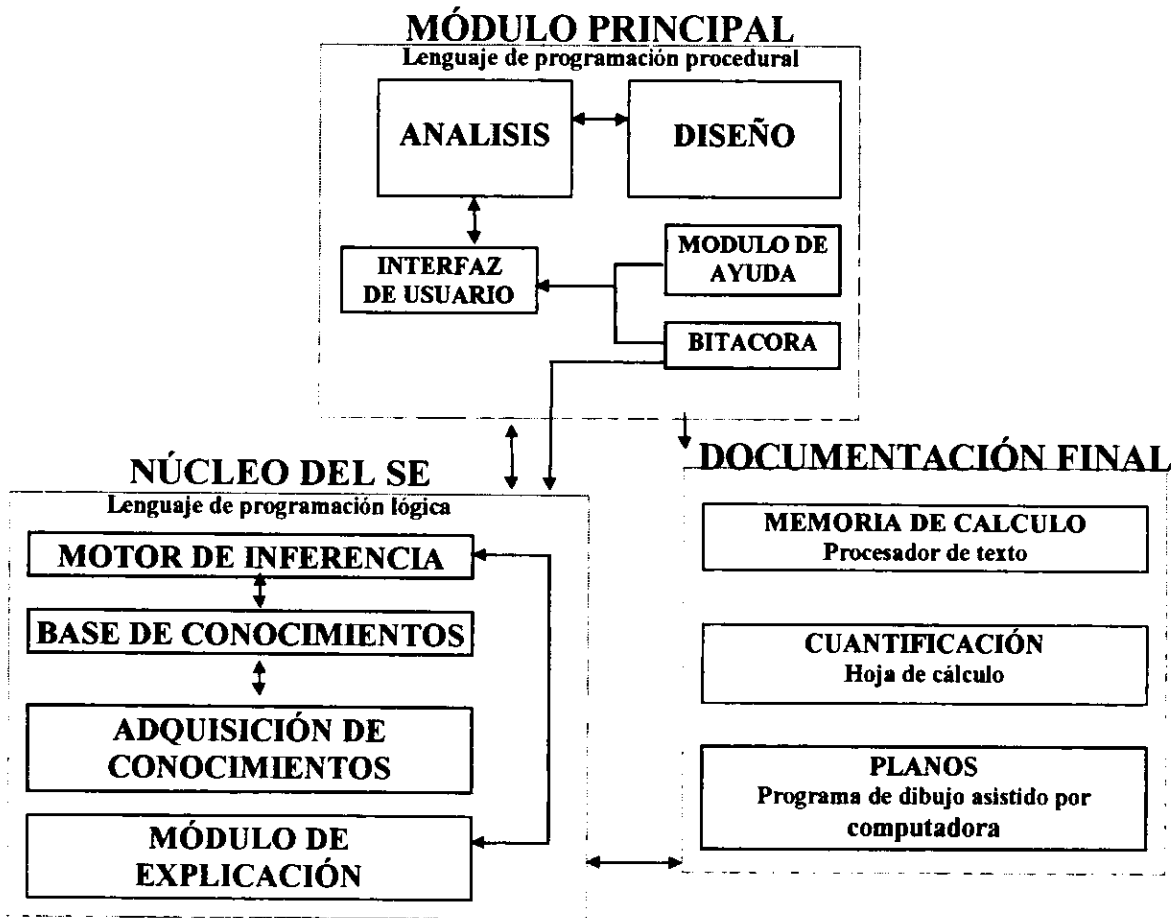


Figura 3.1. Arquitectura del SE para diseño de soportes de concreto.

3.2.1. Generalidades del Funcionamiento.

La forma de funcionar del SE para diseño de soportes es la siguiente: el usuario introduce los datos necesarios que el SE pide, en caso de que los datos estén incompletos el SE sugiere los datos faltantes con un menú desplegable que tiene algunas opciones predeterminadas que son

comunes en el caso de este diseño en particular, pero con la opción de poder cambiarlos según el caso, si es que el operador del sistema lo juzga necesario, al finalizar el llenado de la ventana de datos (ver figura 3.2), el usuario da la orden de diseño, y la interfaz comienza a interactuar con el núcleo del SE, ayudándose del motor de inferencia comenzando así a buscar la solución, por lo que el SE comienza el diseño de la estructura. El motor de inferencia interactúa con la base de conocimientos para buscar la solución basándose en las reglas del SE, el motor deja de buscar hasta que encuentra la solución adecuada al problema inicial.

El módulo principal del SE está compuesto preliminarmente de la interfaz de usuario, análisis, diseño, el módulo de ayuda y la bitácora. La interfaz de análisis y diseño son las más importantes dentro del módulo porque es en este sitio donde se encuentra el algoritmo de análisis y diseño. Además por medio de ésta se realiza la interacción con el experto humano o usuario y el propio SE; la interfaz espera a que el usuario le proporcione los datos necesarios para poder efectuar el proceso de análisis y diseño. Cabe aclarar que SEDIS no efectúa el análisis y diseño si no se tiene una acción antes en la interfaz, este SE es por así decirlo pasivo, espera a que el usuario efectúe alguna acción para que la interfaz reaccione e interactúe con los módulos restantes.

Una vez que los datos iniciales están completos para poder comenzar con el análisis y diseño de los soportes, la interfaz interactúa con el núcleo del SE para poder encontrar la solución, que es el diseño; pero esta interacción se logra a través de la creación de archivos que sostiene una comunicación entre el módulo principal y el núcleo del SE. Estos archivos son de gran importancia para el funcionamiento del SE, porque el módulo principal no se puede conectar de forma directa con el núcleo y efectuar el diseño del soporte ya que la programación tanto del núcleo como del módulo principal están elaborados con diferentes herramientas o lenguajes de programación. Este es el motivo por el cual se crearon “archivos de liga” para que los módulos del sistema se comuniquen entre sí.

Si se desea que el SE elabore las salidas gráficas (memoria de cálculo, catálogo de conceptos con su volumen de obra, especificaciones y planos) sólo se tiene que indicar en la interfaz en el apartado correspondiente para esto, la forma en que se considere y formalizo teóricamente el dibujo y la cuantificación se trata en el capítulo 4. Cabe hacer la aclaración que

en la etapa del dibujo del prototipo de la presente tesis, sólo llegó a fundamentarse la metodología y conocimientos necesarios para efectuarlo de forma automática, desafortunadamente no se pudo implementar en el presente prototipo pero se dejó fundamentado para que en un futuro no muy lejano se implemente.

3.2.2. Programas y Herramientas Usadas.

La elección del tipo de programas y herramientas de computo que se emplearon para el desarrollo del SE fue otra etapa importante ya que se buscó que todas las partes que conforman al SE cumplieran con los requisitos de funcionalidad, comunicación apropiada entre cada una de las partes, armonía y finalmente que fuera amigable e interactivo.

Con la finalidad de obtener los resultados deseados, cada una de estas partes está construida por diferentes programas. A continuación se muestra que tipo de programas fueron utilizados para concebir el SE así como las herramientas usadas:

- Un lenguaje de programación de tipo **procedural** para crear la interfaz de usuario que incluye la salida y entrada de los datos para darle un ambiente amigable.
- Un lenguaje de programación lógica para la conformación de la base de conocimientos y la implementación del motor de inferencia.
- Un procesador de texto y hoja de cálculo para la emisión de la documentación final como es la memoria de cálculo y el catálogo de conceptos.
- Un programa de dibujo asistido por computadora para elaborar el plano tradicional que es la representación gráfica del diseño.

Para mayor claridad en la figura 3.1 se muestran cada uno de los módulos y que tipos de programas componen a cada uno.

3.3. Base de conocimientos para el diseño estructural.

Utilizando el lenguaje de programación lógica se introdujeron al SE las reglas de producción (que es el conocimiento formal y el heurístico), pero antes se tuvo que investigar y recopilar toda la información necesaria para llevar a cabo los documentos ingenieriles correspondientes a: el análisis, diseño, cuantificación y elaboración de los planos.

Estas reglas se obtuvieron tanto de información formal consultada, como heurística recopilada con antelación. El conocimiento formal se obtuvo a través de libros, artículos, normatividad, etc. Y el conocimiento heurístico a través de entrevistas con los expertos en el diseño de soporte de concreto para hidrocarburos del departamento de Civil Concreto, del Instituto Mexicano del Petróleo. Estos expertos humanos a base de su experiencia acumulada durante años tienen ciertos criterios establecidos que les han funcionado a lo largo de su vida profesional. Algunas consideraciones del SE están basadas en esta información heurística, como por ejemplo la separación entre tuberías, la distancia del paño de esta al paño de la cimentación, el tipo de canal a usar para la fijación de la tubería, el tipo de fijación o anclaje usado para sostener la canal, etc.; por lo que fue muy importante la interacción del ingeniero experto con el realizador del SE. Cabe mencionar que la comunicación entre el ingeniero experto y el realizador del SE puede ser difícil, ya que esta enfrenta algunas veces problemas típicos de entendimiento y comunicación.

El dominar un diseño en particular no es difícil pero el enfrentarse a la tarea de expresar ese conocimiento de forma específica y detallada, se torna complicado, pero finalmente la formalización del conocimiento sirve para poder posteriormente llevarlo a la programación, se consiguió conjuntando toda la información antes descrita así como apoyándose en algunas memorias de diseño que el departamento había realizado con antelación, finalmente para comprender la mecánica del análisis y diseño se elaboraron ejemplos que sirvieron de base para la programación tanto algorítmica como lógica.

3.3.1. Etapas del Proceso del SE.

Una vez que se tuvo toda la información se procedió a organizarla y clasificarla de acuerdo a la función que desempeñan en cada una de las posibles etapas que se identificaron y después de haber hecho un análisis de toda la información se tienen que las etapas identificadas para el Proceso del SE son: Datos iniciales, Cálculo de constantes de diseño, Identificación de las variables de diseño estructural, Análisis de la estructura, Revisión de esfuerzos, Diseño, Elaboración de la memoria de cálculo, Elaboración de los números generadores y Elaboración del plano.

En la etapa del análisis y diseño se identificaron y clasificaron los datos que se deben tener antes de iniciarlo como lo es: que tipo de reglamentación es la aplicable, los posibles casos que se puedan presentar (como inestabilidad por volteo a consecuencia de las fuerzas sísmicas o de la condición de dilatación o temperatura), el número de tubos, el diámetros y que tipo de cédula, el tipo de suelo, la resistencia del mismo y otros datos mínimos necesarios para comenzar el diseño

Dentro del proceso de diseño se identificaron los criterios que se toman para decidir que cuantía de acero es la que se toma y cual es la forma de proponer el armado de la estructura, así como procedimientos y consideraciones especiales que están basados en la experiencia de expertos humanos, debido a que este tipo de estructura no es urbana y no es común encontrar especificaciones para este tipo. Además el preponer un armado es cuestión de experiencia y de criterio que cada Ingeniero tiene, por lo que en este proceso se identificaron los criterios a seguir tratando de conjuntarlos.

En cuanto a la etapa de cuantificación también se procedió a identificar y clasificar la información necesaria para llevar a cabo dicha actividad como: que rubros en materia de construcción intervienen, que conceptos son los aplicables al caso, la geometría de la estructura, que tipos de materiales intervienen en la construcción y todos aquellos datos necesarios para iniciar el cálculo de volumen de obra. Para la etapa teórica del dibujo se requirió de recopilar y clasificar la información referente a la elaboración de planos.

Con esta clasificación de información se realizó el diagrama de flujo del SE, esta etapa fue muy importante para el desarrollo del mismo, ya que es en este punto se pueden identificar las variables y constantes que pudieran impactar en el diseño final. Así como todas las alternativas que pudiera tomar el diseño con ciertas condiciones y ver la ruta que tomaría la programación; para que finalmente se pueda llevar ese diagrama a un lenguaje computacional. Posteriormente con ayuda del diagrama de flujo se puede verificar si el SE está tomando el camino adecuado para llegar a la solución buscada. Es importante que el SE siga el flujo determinado porque de lo contrario los resultados finales varían de la realidad; y lo que se busca es que el SE arroje resultados confiables.

Cabe mencionar que el formalizar un conocimiento es algunas veces difícil ya que hay que cuidar el no repetir la información o de caer en contradicciones ya que esto ocasionaría una incongruencia.

Posteriormente se formalizó el conocimiento tanto formal como heurístico en reglas de producción y estas se introdujeron en la base de conocimiento del SE con la sintaxis adecuada del lenguaje de programación elegido para la elaboración de este módulo tan importante. Ese programa fue PROLOG.

PROLOG es la abreviación de PROgramación LÓGica, este lenguaje está basado en la lógica formal y tiene su propio mecanismo de inferencia. Algunos Shell de SE están basados en este lenguaje; por lo que se considera un lenguaje versátil para aplicaciones del tipo de base de datos. Cabe destacar que en el desarrollo de los SE este lenguaje tiene una limitación al tratar con datos del tipo numérico, ya que requiere una memoria extensa y su ejecución es lenta, así mismo se requiere de muchas implementaciones especiales en el lenguaje. (Adeli 1989)

La formalización del conocimiento no solo se realizó para el núcleo del SE sino también se efectuó con las salidas para poder hacer de forma automática la memoria de cálculo, los números generadores y teóricamente el plano.

3.4. Representación del conocimiento.

Una vez identificados todos y cada uno de los conocimientos que intervienen se procedieron a formalizarlos por medio de reglas de producción, que permiten manejarlos de una forma sintetizada y ordenada para realizar los cálculos requeridos para el análisis, tomar las decisiones necesarias para el diseño, efectuar la cuantificación. A continuación se presenta las reglas de producción de todo el SE, estas reglas se muestran con una sintaxis general, este es el paso previo para la traducción de estas reglas a cualquier lenguaje, que puede variar según la herramienta de desarrollo empleada (por ejemplo PROLOGo un "Shell" específico):

{Datos}

{Introducción de los datos.}

{question:Cuál es la zona sísmica?}

Zona sísmica: ?

{question:Cuál es el tipo de suelo?}

Tipo de suelo: ?

{question:Cuál es el esfuerzo permisible máximo del suelo?}

RT: ?

{question:Cuántos tubos tiene el soporte?}

No de tubos: ?

{question:Diámetros de los tubos?}

Diámetros: ?

{question:Cuál es el la resistencia especificada del concreto a compresión,

f'_c }

f'_c : ?

{question:Cuál es el Esfuerzo especificado de fluencia del acero, f_y }

f_y : ?

Rules:

{ Cálculo de las constantes de diseño: }

{Cálculo del f'_c (Resistencia nominal del concreto a compresión, kg./cm^2 .)}

R.2.1 $f^*c = 0.8 f'c$.endif.

{Cálculo de $f''c$: }

R.2.2 if $f^*c \leq 250 \text{ Kg. / cm}^2$ then $f''c = 0.85 f^*c$

if $f^*c > 250 \text{ Kg. / cm}^2$, then $f''c = \left(1.05 - \frac{f^*c}{1250}\right) f^*c$

{Cálculo de p_{\min} por flexión}

R.2.3 $p_{\min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y}$

{Cálculo de la cuantía de acero máxima por flexión: }

R.2.4 $p_{\max} = 0.75 \frac{f'c}{f_y} \frac{4800}{(6000+f_y)}$

{Dimensionamiento propuesto del soporte. }

{Cálculo de la longitud del soporte}

R.2.10.10 Longitud de soporte = Diámetros de los tubos + $\frac{1}{2}$ Diámetro grande

$(N^{\circ} \text{ tubos} - 1) + 0.20(2)$.endif

{Cálculo de la altura del soporte}

R.2.10.20 altura = Nivel Superior de Dado - Nivel de Desplante. endif

{Determinación del ancho de contratabe}

R.2.10.30 If ancho contratabe = desconocida then

If $3 \leq \text{diametro grande} \leq 10$ then ancho contratabe = 0.20 m

Else ancho contratabe = 30 cm.endif.

{Determinación del peralte}

R.2.10.40 if diámetro grande = 4 or 6 or 8 or 10 then peralte = 15 cm. endif.

if diámetro grande = 12 or 14 or 16 or 18 or 20 then peralte = 20 cm. endif.

if diámetro grande = 22 or 24 or 28 then peralte = 25 cm. endif.

if diámetro grande = 30 or 32 or 34 or 36 or 38 or 40 or 42 or 48 then peralte = 30 cm.endif.

{Cálculo del brazo de palanca}

R.2.10.41 Brazo palanca = altura

{Propuesta de la base de la cimentación}

R.2.10.50 if base = desconocida then base = 1.00 m. endif.

{Cálculo de la carga de diseño (peso de las Tuberías)}

{Peso de la tubería con agua del diámetro más grande: }

R.3.10 W tubo con agua = goto tabla de pesos

R.3.11
$$\text{Peso tubería} = \frac{(W_{\text{tubo c/ agua}}) * \text{Longitud de apoyo a apoyo} * \text{No Tubos}}{\text{Longitud de Soporte}}$$

{Análisis}

{Cálculo de la fuerza de dilatación. }

R.4.10 Fdilatación = 0.3 (Peso tubería)

{Cálculo del momento debido a la fuerza de dilatación}

R.4.20 Mdilatación= Brazo palanca (Fdilatación)

{Cálculo del coeficiente C}

R.4.21 if zona sísmica = A and tipo suelo = I then C = 1.5*0.08. endif.

if zona sísmica = A and tipo suelo = II then C = 1.5*0.3. endif.

if zona sísmica = A and tipo suelo = III then C = 1.5*0.60. endif.

if zona sísmica = B and tipo suelo = I then C = 1.5*0.14. endif.

if zona sísmica = B and tipo suelo = II then C = 1.5*0.30. endif.

if zona sísmica = B and tipo suelo = III then C = 1.5*0.36. endif.

if zona sísmica = C and tipo suelo = I then C = 1.5*0.36. endif.

if zona sísmica = C and tipo suelo = II then C = 1.5*0.64. endif.

if zona sísmica = C and tipo suelo = III then C = 1.5*0.64. endif.

if zona sísmica = D and tipo suelo = I then C = 1.5*0.50. endif.

if zona sísmica = D and tipo suelo = II then C = 1.5*0.86. endif.

if zona sísmica = D and tipo suelo = III then C = 1.5*0.86. endif.

if zona sísmica = E and tipo suelo = I then C = 1.5*0.16. endif.

if zona sísmica = E and tipo suelo = II then C = 1.5*0.32. endif.

if zona sísmica = E and tipo suelo = III then C = 1.5*0.40. endif.

{Cálculo de la fuerza sísmica}

R.4.30
$$F_{\text{sísmica}} = \frac{C}{Q} * \text{Peso tubería}$$

{Cálculo del momento debido a la fuerza sísmica. }

R.4.40 Msísmica= Brazo palanca * (Fsísmica)

- {Cálculo del peso propio de la cimentación}
- R.4.41 $\text{Peso propio} = [(\text{Base} - \text{ancho contratrabe}) \text{peralte} + \text{altura (ancho contratrabe)}] * \text{Longitud de soporte} * \gamma_{\text{concreto}}$
- {Cálculo del peso del relleno}
- R.4.42 $\text{Peso relleno} = (\text{Base} - \text{ancho contratrabe}) * (\text{ Nivel de desplante} - \text{peralte}) * \text{Longitud soporte} * \gamma_{\text{suelo de relleno}}$
- {Cálculo de P total}
- R.4.50 $P \text{ total} = \text{Peso tubería} + \text{Peso propio} + \text{Peso relleno}$
- {Cálculo del área de la sección}
- R.4.51 $\text{Area} = \text{Base} * \text{Longitud soporte}$
- {Cálculo del módulo de sección}
- R.4.52
$$M_{\text{sección}} = \frac{\text{Longitud soporte} * \text{Base}^2}{6}$$
- {Cálculo de las presiones de contacto por dilatación y por sismo}
- R.4.60
$$\sigma_{\text{dil } 1} = F_c \left(\frac{P \text{ Total}}{\text{Area}} + \frac{M \text{ dilatacion}}{M_{\text{seccion}}} \right)$$
- $$\sigma_{\text{dil } 2} = F_c \left(\frac{P \text{ Total}}{\text{Area}} - \frac{M \text{ dilatacion}}{M_{\text{seccion}}} \right)$$
- R.4.61
$$\sigma_{\text{sis } 1} = F_c \left(\frac{P \text{ Total}}{\text{Area}} + \frac{M \text{ sismica}}{M_{\text{seccion}}} \right)$$
- $$\sigma_{\text{sis } 2} = F_c \left(\frac{P \text{ Total}}{\text{Area}} - \frac{M \text{ sismica}}{M_{\text{seccion}}} \right)$$
- {Elección del Esfuerzo}
- R.4.62 if $\sigma_{\text{dil } 1} > RT$ or $\sigma_{\text{dil } 2} > RT$ or $\sigma_{\text{sis } 1} > RT$ or $\sigma_{\text{sis } 2} > RT$ then
 $\text{Base} = \text{Base} + 0.10$ goto R.4.41
 Else Goto R.4.64. end if
- {Revisión}
- R.4.63 if $\sigma_{\text{sis } 1} < \sigma_{\text{dil } 1}$ then $\sigma_1 = \sigma_{\text{dil } 1}$ and $\sigma_2 = \sigma_{\text{dil } 2}$ else $\sigma_1 = \sigma_{\text{sis } 1}$ and $\sigma_2 = \sigma_{\text{sis } 2}$. endif
- If $\sigma_{\text{dil } 1} = \sigma_{\text{sis } 1}$ and $\sigma_{\text{dil } 2} > \sigma_{\text{sis } 2}$ then
 $\sigma_1 = \sigma_{\text{dil } 1}$ and $\sigma_2 = \sigma_{\text{dil } 2}$ else $\sigma_1 = \sigma_{\text{sis } 1}$ and $\sigma_2 = \sigma_{\text{sis } 2}$. endif
- if $\sigma_{\text{dil } 1} = \sigma_{\text{sis } 1}$ and $\sigma_{\text{dil } 2} = \sigma_{\text{sis } 2}$ then $\sigma_1 = \sigma_{\text{sis } 1}$ and $\sigma_2 = \sigma_{\text{sis } 2}$. goto R.4.81. endif
- Goto R.4.81

- {Calcular la excentricidad de la zapata}
- R.4.64
$$\text{excentricidad dilatación} = F_{Cp} \frac{M_{\text{dilatación}}}{\text{Peso Total}}$$
- $$\text{excentricidad sísmica} = F_{Cs} \frac{M_{\text{sísmica}}}{\text{Peso Total}}$$
- {Calcular la excentricidad permisible}
- R.4.65
$$e_{\text{perm.}} = \frac{\text{Base}}{6}$$
- {Elección de la Excentricidad más grande. }
- R.4.66 if (excentricidad sísmica < e perm) and then goto R.4.63.endif
 If excentricidad dilatación > excentricidad sísmica then
 e = excentricidad dilatación else
 if excentricidad dilatación <= excentricidad sísmica then
 e = excentricidad sísmica. endif
- {Calcular la nueva B para la excentricidad escogida}
- R.4.67
$$B_1 = 3 \left(\frac{\text{Base}}{2} - e \right)$$
- {Calcular la nueva presión de contacto con la nueva B}
- R.4.68
$$\sigma' = \frac{2 P \text{ Total}}{B_1 \text{ Longitud soporte}}$$
- {Escoger de las presiones de contacto por sismo y por dilatación la más grande y se le nombrara σ }
- {Cálculo de la presión de contacto de diseño}
- R.4.80 if $\sigma' > RT$ then Base = Base +0.10 goto R.4.41.endif
 if $\sigma_{\text{sis } 1}$ or $\sigma_{\text{dil } 1} > \sigma'$ then goto R.4.63.endif.
 $\sigma_1 = \sigma'$ and $\sigma_2 = 0$
- {Cálculo de la distancia ld diseño }
- R.4.81
$$ld = \frac{\text{Base} - \text{ancho contratrabe}}{2} - \frac{\text{peralte} - \text{recubrimiento}}{2}$$
- R.4.90 if $\sigma_1 = 0$ then goto R.5.0. endif.
 if $\sigma_1 > 0$ then goto R.5.10. endif.
 if $\sigma_1 < 0$ then goto R.5.20. endif.

{Cálculo de los momentos y fuerzas de diseño}{Cálculo de $\sigma_{\text{diseño}}$ }

$$\text{R.5.0} \quad \sigma_x = \frac{\sigma_2 * (\text{Base} - ld)}{\text{Base}}$$

{Cálculo del Momento de diseño}

$$\text{R.5.3} \quad M = \frac{\sigma_x ld^2}{2} + \left((\sigma_2 - \sigma_x) \frac{ld^2}{3} \right)$$

{Cálculo del cortante de diseño}

$$\text{R.5.4} \quad V = \sigma_x ld + \left((\sigma_2 - \sigma_x) \frac{ld}{2} \right)$$

R.5.5 goto R.6.10

{Cálculo de los momentos y fuerzas de diseño}{Cálculo de $\sigma_{\text{diseño}}$ }

$$\text{R.5.10} \quad \sigma_x = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2) * (\text{Base} - ld)}{\text{Base}} - \sigma_1$$

{Cálculo del Momento de diseño}

$$\text{R.5.12} \quad M = \frac{\sigma_x ld^2}{2} + \left((\sigma_2 - \sigma_x) \frac{ld^2}{3} \right)$$

{Cálculo del cortante de diseño}

$$\text{R.5.13} \quad V = \sigma_x ld + \left((\sigma_2 - \sigma_x) \frac{ld}{2} \right)$$

R.5.14 goto R.6.10

{Cálculo de los momentos y fuerzas de diseño}{Cálculo de $\sigma_{\text{diseño}}$ }

$$\text{R.5.20} \quad \sigma_x = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2) * (\text{Base} - ld)}{\text{Base}} + \sigma_1$$

{Cálculo del Momento de diseño}

$$\text{R.5.22} \quad M = \frac{\sigma_x ld^2}{2} + \left((\sigma_2 - \sigma_x) \frac{ld^2}{3} \right)$$

{Cálculo del cortante de diseño}

$$\text{R.5.23} \quad V = \sigma_x ld + \left((\sigma_2 - \sigma_x) \frac{ld}{2} \right)$$

{ Diseño }**{ Diseño por flexión de la zapata: }**

{ Cálculo de q, sustituyendo en la ecuación siguiente }

$$R.6.10 \quad \{ M = F_R f'' c b d^2 q^2 (1 - 0.5q) \\ 0.5F_R f'' c b d^2 q^2 - F_R f'' c b d^2 q + M = 0 \} \\ a = 0.5F_R f'' c b d^2 \\ b = F_R f'' c b d^2 \\ c = M \\ a q^2 - b q + c = 0$$

{ Resolviendo la ecuación de segundo grado: }

$$R.6.20.20 \quad q_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ q_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

{ Sustituyendo cada q en }

$$R.6.20.30 \quad p_1 = q_1 \frac{f'' c}{f_y} \\ p_2 = q_2 \frac{f'' c}{f_y}$$

{ La cuantía de acero debe estar en los siguientes límites: $p_{min} < p < p_{max}$ }

R.6.20.50 if $p_1 \leq p_{min}$ then $p = p_{min}$ goto R.6.20.61.endif
 if $p_2 \geq p_{max}$ then $Base = Base + 0.10$.goto R.4.41.endif.
 if $(p_2 \leq p_{min})$ and $(p_1 < p_{max})$ then $p = p_{min}$ goto R.6.20.61.endif.
 if $(p_{min} < p_1$ and $p_1 < p_{max})$ and $(p_{min} < p_2$ and $p_2 < p_{max})$ then
 if $p_1 < p_2$ then $p = p_1$ else $p = p_2$. goto R.6.20.61.endif
 if $(p_{min} < p_2$ and $p_2 < p_{max})$ and $p_1 > p_{max}$ then $p = p_2$ goto R.6.20.61.endif
 if $(p_{min} < p_1$ and $p_1 < p_{max})$ and $p_2 < p_{min}$ then $p = p_1$.endif
 { Revisión por cortante: }

R.6.20.61 if $p \leq 0.01$ then
 $V_{CR} = F_R b d (0.2 + 30p) \sqrt{f'' c}$ else $V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f'' c}$.endif
 if $V_{CR} \geq V$ then goto R.6.20.70

$$\text{if } V_{CR} < V \text{ then } p = \frac{\frac{V}{FRbd\sqrt{f^*c}} - 0.2}{30}$$

if p <= 0.1 then goto R.6.20.70.endif

if p > 0.1 then p = pmax and $V_{CR} = 0.5FRbd\sqrt{f^*c}$.endif

if $V_{CR} > V$ Then goto R.6.20.70

{ Aumento de peralte por no cumplir con la revisión por cortante }

R.6.20.62 Peralte = Peralte + 0.05 goto R.4.41

{ Cálculo del área de acero }

R.6.20.70 $As_{zap.} = pbd$ cm²

{ Cálculo del área de acero por temperatura }

R.6.20.71 $As_{zap.temp} = 0.003bd$

{ Elegir el número de la varilla para R.6.20.70 de la zapata, as en cm² }

R.6.20.80 Ir a tabla de varillas y comparar con el área de acero conocida y calculada,
Comparar con las separaciones máximas y mínimas.

{ Cálculo de la separación de las varillas para R.6.20.70: }

R.6.20.90 $Sep_{zap} = \frac{100as}{As}$

{ Cálculo del número de varillas total de la zapata }

R.6.20.91 $No_{zap} = \frac{L}{Sep_{zap}}$

{ Número de varillas para R.6.20.71 }

R.6.20.100 $N^{\circ} = \frac{As}{as}$

{ Cálculo de la separación para R.6.20.71 }

R.6.20.101 $Sep_{zap temp} = \frac{H-h}{N^{\circ} \text{ de R.6.20.71}}$

R.6.30 { Diseño de la contratrabe: }

{ Cálculo de la cuantía mínima para el acero principal por cargas gravitacionales }

R.6.30.10 $p_{\alpha} = \frac{0.7\sqrt{f_c}}{f_y}$

- {Cálculo del área de acero}
- R.6.30.20 $A_{s\alpha} = p_{\alpha} bd$
- {Cálculo del área de acero por temperatura}
- R.6.30.21 $A_{s\alpha,temp} = 0.003bd$
- {Elegir el número de la varilla para R.6.30.10 de la contratrabe, as en cm^2 }
- R.6.30.30 Ir a tabla de varillas y comparar con el área de acero conocida y calculada, Comparar con las separaciones máximas y mínimas.
- {Cálculo del número de varillas total de la zapata}
- R.6.30.40 $N_{o\alpha} = \frac{as}{Sep}$
- {Cálculo de la separación de las varillas para R.6.30.10:}
- R.6.30.45 $Sep_{\alpha} = \frac{b}{N^{\circ}_{\alpha}} > 7 \text{ cm}$
- {Número de varillas para R.6.30.21}
- R.6.30.50 $N^{\circ} = \frac{As}{as}$
- {Cálculo de la separación para R.6.30.21}
- R.6.30.51 $Sep_{\alpha,temp} = \frac{H-h}{N^{\circ} \text{ de R.6.30.50}}$
- R.6.30.60 {Cálculo del refuerzo por sismo de la contratrabe por flexión:}**
- {Cálculo de q, sustituyendo en la ecuación siguiente}
- R.6.30.70 $M = F_R f''_c bd^2 q^2 (1 - 0.5q)$
 $0.5F_R f''_c bd^2 q^2 - F_R f''_c bd^2 q + M$
 $a q^2 - b q + c = 0$
- {Resolviendo la ecuación de segundo grado:}
- R.6.30.80 $q_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
 $q_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
- {Sustituyendo cada q en}

$$R.6.30.90 \quad p_1 = q_1 \frac{f'_c}{f_y}$$

$$p_2 = q_2 \frac{f'_c}{f_y}$$

{ La cuantía de acero debe estar en los siguientes limites: }

$$R.6.30.100 \quad p_{min} < p < p_{max}$$

R.6.30.110 if $p_1 \leq p_{min}$ then $p = p_{min}$ goto R.6.30.130.endif

if $p_2 \geq p_{max}$ then anchocontratrabes = anchocontratrabes + 0.05. goto R.4.41.endif.

if $(p_2 \leq p_{min})$ and $(p_1 < p_{max})$ then $p = p_{min}$ goto R.6.30.130.endif.

if $(p_{min} < p_1$ and $p_1 < p_{max})$ and $(p_{min} < p_2$ and $p_2 < p_{max})$ then

if $p_1 < p_2$ then $p = p_1$ else $p = p_2$. goto R.6.30.130.endif

if $(p_{min} < p_2$ and $p_2 < p_{max})$ and $p_1 > p_{max}$ then $p = p_2$ goto R.6.30.130.endif

if $(p_{min} < p_1$ and $p_1 < p_{max})$ and $p_2 < p_{min}$ then $p = p_1$.endif

{Revisión por cortante:}

R.6.30.130 if $p \leq 0.01$ then

$V_{CR} = F_R b d (0.2 + 30p) \sqrt{f^*c}$ else $V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f^*c}$.endif

if $V_{CR} \geq V$ then goto R.6.30.140

if $V_{CR} < V$ then $p = \frac{\frac{V}{F_R b d \sqrt{f^*c}} - 0.2}{30}$

if $p \leq 0.1$ then goto R.6.30.140.endif

if $p > 0.1$ then $p = p_{max}$ and $V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f^*c}$.endif

if $V_{CR} > V$ Then goto R.6.20.70

{Aumento de peralte por no cumplir con la revisión por cortante}

R.6.30.131 ancho contratrabes = ancho contratrabes + 0.05 goto R.4.41

{Cálculo del área de acero:}

R.6.30.140 $A_{S_{ap}} = p b d \quad \text{cm}^2$

{Elegir el número de la varilla para R.6.30.140 de la zapata,
as en cm^2 }

R.6.30.150 Ir a tabla de varillas y comparar con el área de acero conocida y calculada,
Comparar con las separaciones máximas y mínimas.

{Cálculo de la separación de las varillas para R.6.30.140: }

$$R.6.30.160 \quad Sep_{cp} = \frac{100as}{As}$$

{Cálculo del número de varillas total de la zapata}

$$R.6.30.170 \quad No_{cp} = \frac{L}{Sep_{cp}}$$

Se puede observar que en todas las reglas de producción anteriores se trato de abarcar cada una de las posibilidades del diseño, por ejemplo ¿Qué ocurriría si después de diseñar la zapata por flexión la fuerza cortante que experimente la misma es más grande que la permisible?. Considerando esto sólo se tiene dos posibilidades, la primera es tratar de encontrar una cuantía que satisfaga el requerimiento y la segunda que se aumente el peralte de la zapata. Las dos opciones son válidas por lo que se tuvo que contemplar en las reglas y tratar de que ambas trabajen juntas.

Como el ejemplo anterior hay algunos casos dentro de las reglas de producción en las cuales se tuvieron que considerar las posibilidades que se pudieran presentar y no descartar las alternativas de solución. Estas alternativas de solución son basadas muchas veces en los criterios y experiencia del ingeniero diseñador por lo que algunas veces fue difícil estandarizar el criterio a seguir dentro de las reglas.

Un ejemplo muy claro de que el criterio del diseñador es fundamental, se encuentra en la forma de especificar el armado de una estructura. Este es muchas veces muy complicado o sencillo según la perspectiva del diseñador, pero tratando de conjuntar los criterios de economía, (no barato) y resistencia adecuada se logró llegar a un diagrama de flujo aceptable. Se consideraron las restricciones por reglamento y usar el área más pequeña de varilla, para garantiza de esta forma la economía y el ahorro en la construcción.

Pero teóricamente el SE tendría la capacidad de manejar estadísticas de casos antes resueltos, esta característica estaría incluida en las reglas de producción, requiriendo la acumulación de las soluciones obtenidas para consultarlas y sugerir diseños antes hechos, dándole al SE la propiedad de simular un cierto aprendizaje por la experiencia acumulada en

forma de base de datos, para que en base a éstos el SE obtuviera la experiencia con el uso del mismo, pero el prototipo de esta tesis no contempla la adquisición de conocimiento en base a la experiencia. Esto se podrá lograr en etapas posteriores de investigación.

3.5. Mecanismo de inferencia.

Este mecanismo es un algoritmo que busca la solución del problema y simula la forma que el experto lo resuelve. Puede estar implementado en cualquier lenguaje de programación, ya sea PROLOG, LISP o en un Shell (o esqueleto) determinado, de acuerdo a las necesidades que se tengan, pero independientemente del lenguaje o programa a utilizar el conocimiento no cambia si se traduce de un lenguaje a otro. Lo que esencialmente hace el motor de inferencia es comparar todas las posibilidades que se tienen dentro de la base de conocimientos y encontrar la solución adecuada al problema. Cabe aclarar que encontrará una solución que ya este en la base de conocimiento, de lo contrario no podrá encontrarla, ya que esta limitado a las posibles respuestas que se tengan en la base de conocimientos y no crea respuestas por razonamiento como lo hace un experto humano.

Contrariamente a lo que se pueda creer de un SE sólo simula el comportamiento de un experto, y no crea conocimientos nuevos, como sin duda lo haría un experto humano; las computadoras, las herramientas, y los programas actuales no pueden desarrollar todavía una tecnología semejante. Por lo tanto se tienen que adecuar las herramientas que se tiene a un alcance limitado.

Teóricamente los resultados del diseño final se almacenan para que el SE lo consulte, cuando se vuelva a diseñar en el sistema; esta es la única manera de “crear” conocimiento, pero sólo es una base de dato, esta “facultad” no la posee el prototipo que se presenta en la presente tesis.

El mecanismo de inferencia elegido fue el de encadenamiento hacia atrás (o retroencadenamiento) que es el proceso en el cual consiste en llevar a cabo el proceso de razonamiento descendente, que se indica a partir de objetos deseados y trabaja hacia atrás en dirección a las condiciones pre-requisito.

Un ejemplo de este tipo de mecanismo es el siguiente:

Conociendo el Diámetro de cada uno de los tubos que componen el Rack y determinando ¿cuál es el diámetro del tubo más grande? se puede seguir el siguiente dimensionamiento de la longitud del soporte, peralte de la zapata y del ancho de la contratrabe. Por ejemplo considerando que el diámetro del tubo mayor es 40'' y se tiene un Rack con dos tubos del mismo diámetro se tiene:

{Dimensionamiento propuesto del soporte. }

{Cálculo de la longitud del soporte} = 2.54 m.

R.2.10.10 *Longitud de soporte = Diámetros de los tubos + ½ Diámetro grande
(Nº tubos -1) + 0.20(2).endif*

{Determinación del ancho de contratrabe} = 30 cm.

R.2.10.30 *Determinación del ancho de la contratrabe:*

If ancho contratrabe = desconocida then

If 3 <= diámetro grande <= 10 then ancho contratrabe = 0.20 m

Else ancho contratrabe = 30 cm.endif.

{Determinación del peralte}= 30 cm.

R.2.10.40 *if diámetro grande = 4 or 6 or 8 or 10 then peralte = 15 cm. endif.*

if diámetro grande = 12 or 14 or 16 or 18 or 20 then peralte = 20 cm. endif.

if diámetro grande = 22 or 24 or 28 then peralte = 25 cm. endif.

if diámetro grande = 30 or 32 or 34 or 36 or 38 or 40 or 42 or 48 then peralte = 30 cm.endif.

Como se puede apreciar se tiene un dato conocido que es Diámetro del tubo más grande, esté se compara con la base de datos y se obtienen las dimensiones buscadas, estas a su vez comprueban otras condiciones que se llaman pre-requisito porque se han alimentado con anterioridad y cumplen una condición establecida.

3.6. Explicación del comportamiento del sistema experto.

El SE debe ser capaz de explicar el ¿por qué? llegó a cierta conclusión, esta habilidad se obtiene enlistando únicamente las reglas utilizadas como base para resolver el problema, así como la reglamentación aplicada. El SE tiene una bitácora que registra cada una de las actividades que hace y ¿cuál fue la ruta que siguió? para llegar al diseño final y cuantificación, por lo que al final el SE muestra esta información para justificarse. Del ejemplo anterior se tendría:

{Dimensionamiento propuesto del soporte. }

{Cálculo de la longitud del soporte} = 2.54 m.

R.2.10.10 *Longitud de soporte = Diámetros de los tubos + ½ Diámetro grande
(N° tubos -1) + 0.20(2).endif*

{Determinación del ancho de contratrabe} = 30 cm.

R.2.10.30 *Else ancho contratrabe = 30 cm.endif.*

{Determinación del peralte}= 30 cm.

R.2.10.40 *if diámetro grande = 30 or 32 or 34 or 36 or 38 or 40 or 42 or 48 then peralte =
30 cm.endif.*

En el SE de la presente tesis la bitácora de diseño es una ventana que refleja los resultados de diseño y emite mensajes para que el usuario sepa que decisiones se tomaron, como el aumento del área de contacto, el aumento de la cuantía, que rige en el diseño, etc. Así mismo la bitácora de la cuantificación sólo emite los datos que se consideraron para la ejecución del documento correspondiente.

3.7. Interfaz de usuario.

En referencia al programa procedural que se eligió para crear la interfaz, este programa está orientado a objetos que ya contienen una programación dentro de ellos, además se maneja la interfaz por medio de ventanas. Pero primero hay que saber que es un objeto para poder entender como se formó la interfaz que el usuario podrá ver cada vez que quiera usar el SE.

Los objetos son la representación gráfica que el usuario ve en la pantalla o en una ventana (Ver figura 3.2), esta representación gráfica o símbolo que se ve, tiene una programación y propiedades implícitas. La programación que trae inherente cada objeto es de gran ayuda para el programador ya que no se pierde tiempo en hacer una programación específica para cada representación gráfica puesto que ya la tiene, sólo hay que adecuar el objeto a lo que se busca con ayuda de las propiedades y así facilitar la tarea de programación. Por ejemplo existen objetos como comandos, entrada de datos, menús, etiquetas, etc.; estos objetos responden a ciertas acciones como clicks del mouse, o arrastrar el mouse sobre él, o la introducción de algún dato, esto se logra gracias a la programación que tiene cada uno, así pues el programador no tiene que efectuar una programación porque los objetos ya tienen las características y propiedades deseadas para que por ejemplo un comando responda a un click del mouse pues ya la tiene.

Las propiedades de cada objeto imprimen características a éste, como por ejemplo que sea visible o no, que se vea deshabilitado o que cambie de color, con estas propiedades se puede hacer una programación de la interfaz amigable e interactiva.

Ahora conjuntando las características de los objetos con la forma en que reaccionan a un evento se logra una programación, con una simple acción como un click de mouse se puede ejecutar una programación que se haya especificado dentro del objeto.

Es aquí en la interfaz de usuario en donde el algoritmo de análisis y diseño están programados. Cada objeto de la ventana principal tiene una parte del algoritmo. Además es en la interfaz donde se hace la conexión con el resto del SE y donde se crean los archivos de liga para interactuar con el Núcleo del SE y con el usuario. En la figura 3.2. se presenta la ventana principal del SE llamado SEDIS.

3.7.1. Ventana Principal.

Esta es la vista principal de SEDIS, por medio de esta ventana se introducen los datos necesarios para el análisis y diseño de los soportes. Como se puede observar en la figura 3.2. es en esta ventana donde se solicitan por así decirlo los datos de inicio. Esta constituida por acceso de información, menú, comandos y etiquetas.

El acceso de información esta representado por objetos rectangulares de color blanco, en estos objetos se puede escribir los datos que se piden; al lado de ellos se tiene etiquetas que son por así decirlo letreros que indican que es cada acceso de datos, a que corresponde, diferenciando así a cada uno.

Se tiene diferentes categorías de acceso de datos y se pueden apreciar en la figura 3.2. Uno completamente blanco y otro de color blanco pero con una flecha en el extremo derecho la diferencia entre éstos es la siguiente:

El que tiene la flecha tiene opciones que se tienden a usar, esto quiere decir que SEDIS no considera una opción abierta; por ejemplo se tiene el diámetro de los tubos este acceso sólo tiene las opciones indicadas dentro de la flecha y a pesar de que se pueden ingresar otros datos diferentes a los que se despliegan en la lista no se recomienda ya que datos diferentes no se encuentran relacionados dentro de SEDIS, el motor de inferencia con estos datos busca en una lista y encuentra la solución. Esta lista fue introducida de forma especifica con valores predeterminados por lo que si se ingresan valores diferentes a los de la lista SEDIS no podrá encontrar la solución.

Pero por otro lado sucede lo contrario en el acceso de la capacidad de carga a pesar de que tiene una lista desplegable si se puede introducir el dato que se quiera ya que en este caso no se tiene una programación especifica para consultar en una lista. El acceso de información que esta totalmente en blanco esta completamente abierto a las opciones que el usuario quiera colocar.

Cabe aclarar que SEDIS sugiere algunos datos como el largo del soporte, la separación entre tubos, el ancho de la contratrabe, el peralte de la zapata (estas sugerencias están basadas en los criterios de ingenieros expertos en el diseño de soportes), pero esto no quiere decir que no se puedan cambiar si el usuario lo cree conveniente, se puede cambiar la sugerencia que da el SE y colocar en el acceso de datos libre (sin flecha) el dato que más le convenga al usuario.

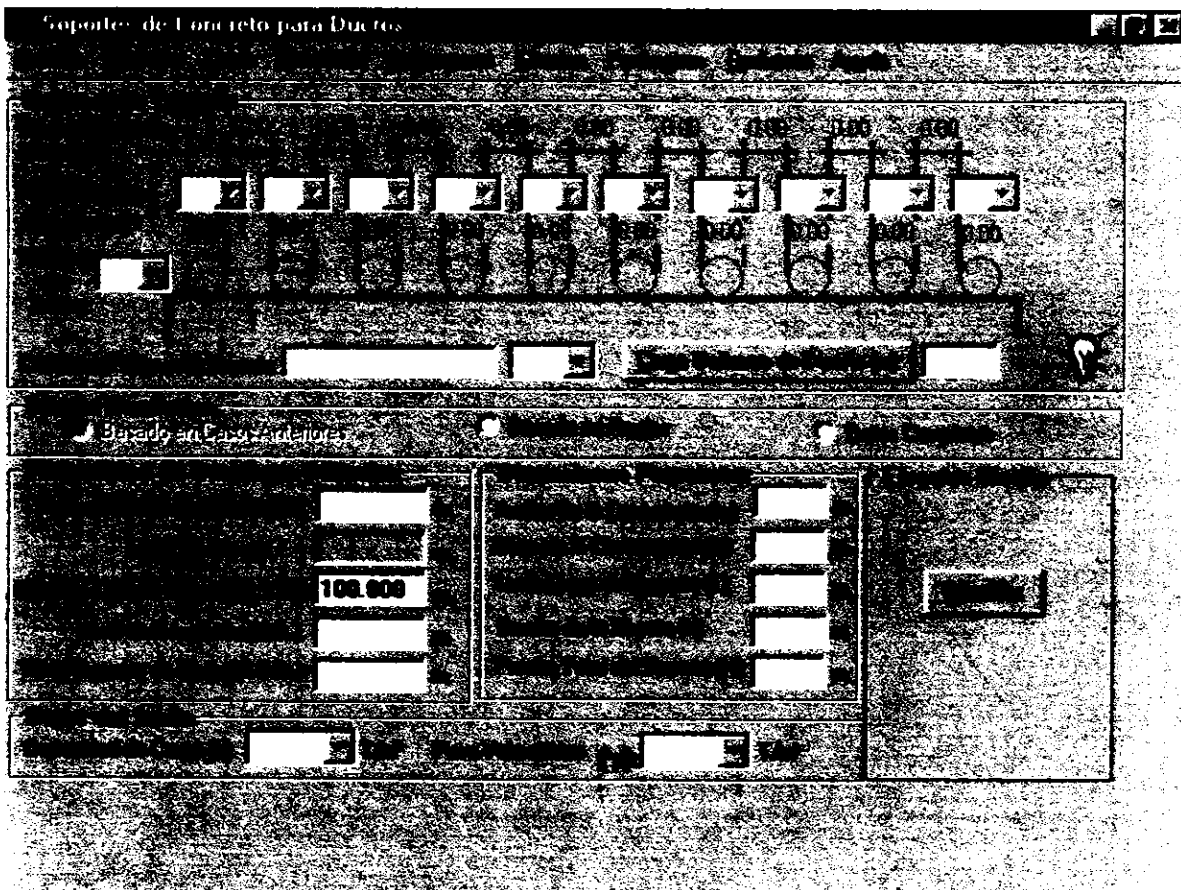


Fig. 3.2. Ventana Principal de SEDIS (Interfaz de usuario).

3.7.1.1. Menú y Comandos

La ventana principal en la parte superior tiene una barra llamada menú, aquí se tiene una lista de palabras que están orientadas a efectuar cierta programación. Se tiene pues en orden de izquierda a derecha lo siguiente:

- Archivo: dentro de este menú se tiene funciones básicas de un programa como lo es abrir un archivo existente, crear uno nuevo y guardar un archivo.
- Proyecto: este menú llama a una ventana la cual se le ingresan datos del proyecto como número de contrato, nombre del proyecto, fecha y persona que está usando SEDIS.
- Clave: aquí se elige la clave del soporte a diseñar.

- **Materiales:** Se presenta los materiales a usar, concreto y acero con sus especificaciones ya propuestas por el SE con opción a cambiarlas.
- **Reglamento :** Que tipo de reglamento va ha considera SEDIS (CFE o RCDDF) y cuales son los factores a considerar (Ventana).
- **Sísmico:** Se calcula el coeficiente sísmico, aparece una ventana por medio de la cual se le proporciona el tipo de suelo, y la zona sísmica (según reglamento).
- **Parámetros:** Consideraciones de SEDIS como separación entre soportes, recubrimiento del acero, espesor de plantilla, sección del canal de fijación, espacio del paño del soporte al tubo.
- **Opciones:** Aquí se muestra en que directorio se está trabajando o si se desea cambiar.
- **Ayuda:** Este menú explica quien elaboró SEDIS, como usar el SE, etc.

También dentro de la ventana principal se tiene comandos como los de Carga Uniforme de Diseño y Diseñar, estos ejecutan partes del algoritmo de análisis y diseño y se comunican con el núcleo del SE logrando así que el SE funcione. El foco amarillo es también un comando que muestra una ventana con las dimensiones propuestas por el usuario o por SEDIS.

3.7.2. Ventana de Resultados.

Esta ventana contiene los resultados esenciales del diseño que son las áreas de acero calculadas por SEDIS para cada elemento del soporte. Así como las dimensiones finales del soporte, (en caso de que el área propuesta al principio fuera insuficiente el SE adecua esta para que sea la correcta), mostradas gráficamente por medio de un isométrico. Es en esta ventana cuando el usuario tiene que decidir si desea que el SE elabore la memoria de cálculo y/o la cuantificación como documentos. Esto quiere decir que al finalizar el SE elaborará las salidas ingenieriles. Cabe mencionar que antes de elaborar el documento de la cuantificación se debe hacer click en el comando de Cuantificar de lo contrario aparecerá un mensaje pidiendo que haga esta acción. Si se quiere ver los resultados de la cuantificación, los detalles de diseño y el armado del soporte se pueden consultar por medio del comando de cuantificar, el comando de bitácora y el foco amarillo respectivamente, cada comando nos dirige a una ventana que nos muestra la información solicitada. Cabe aclarar que el comando de Cuantificación es independiente ya que

al momento de efectuar un click sobre este es en este momento cuando el algoritmo de cuantificación calcula el volumen de obra con los datos del diseño.

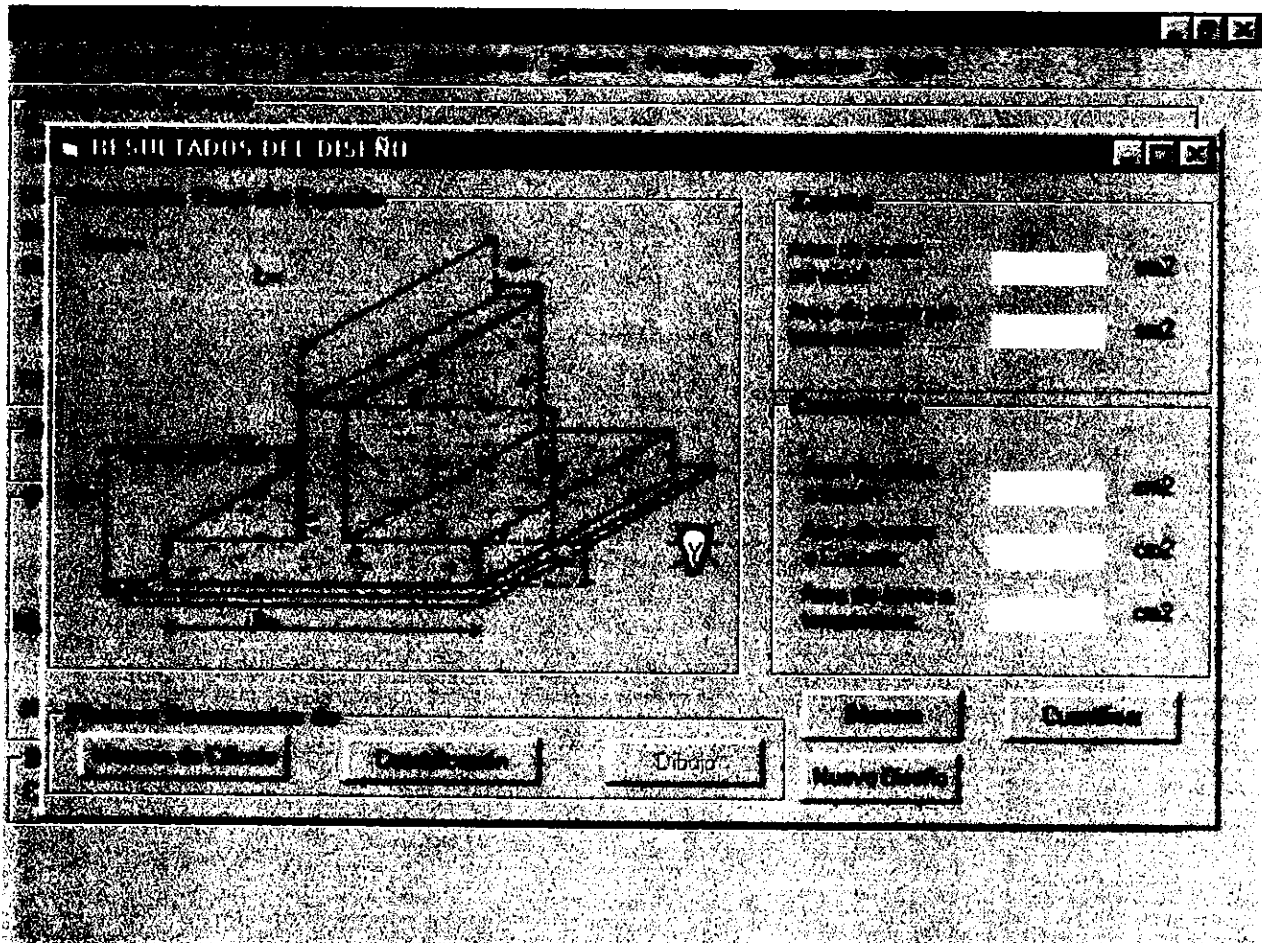


Fig. 3.3. Ventana de Resultados

3.7.3. Detalle del Diseño

Es la ventana que contiene todos los detalles del diseño para que usuario del SE los pueda observar antes de elaborar la memoria de cálculo, los datos que contiene son los siguientes: el peso total del soporte, la cuantía mínima y máxima, así como los elementos mecánicos para cada elemento del soporte (Esfuerzos actuantes por dilatación y sismo, momentos de volteo, fuerzas cortantes actuantes, excentricidades debido a momentos, etc.), comparaciones entre esfuerzos permisibles y actuantes, así como mensajes que le indican al usuario algunas decisiones que tomo el SE como por ejemplo: el aumento la cuantía de acero. Además esta ventana trabaja como bitácora porque nos indica que hizo SEDIS.

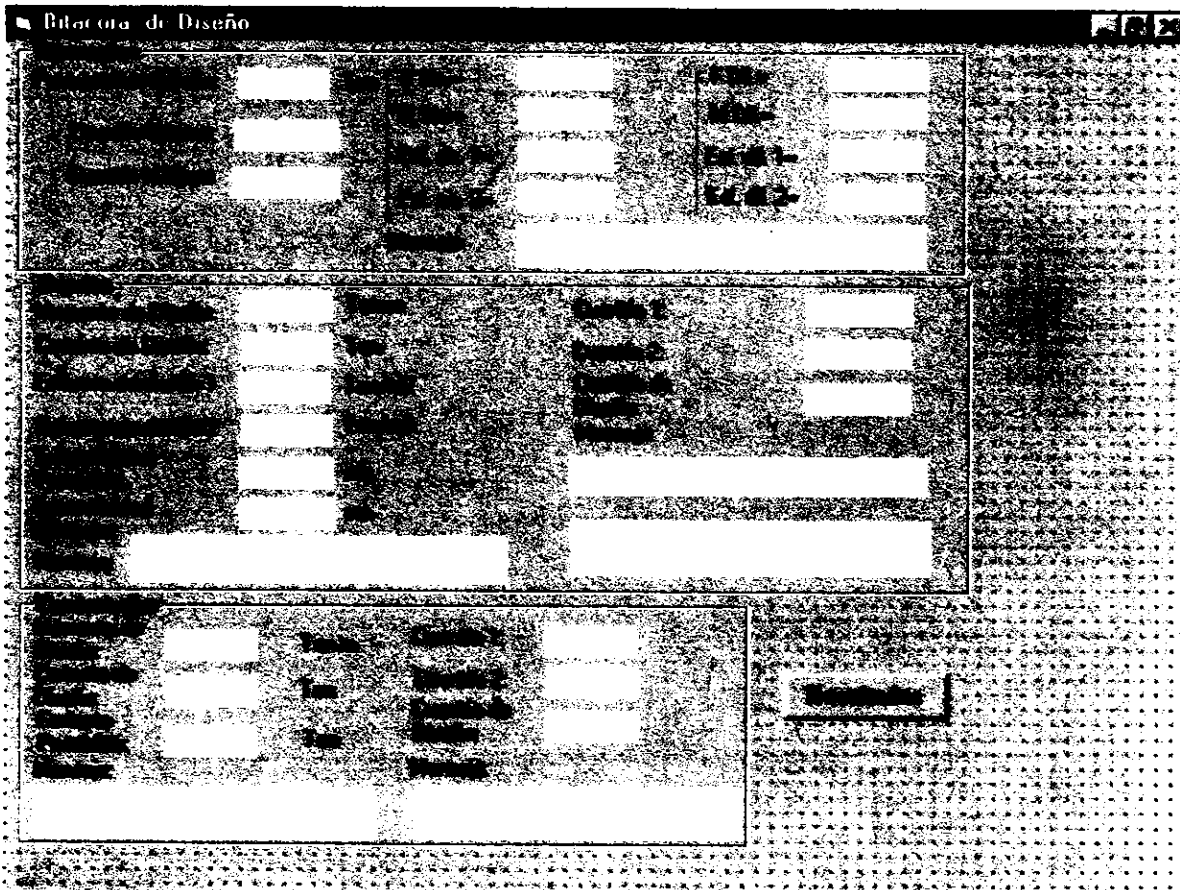


Fig. 3.4. Ventana de Detalles de Diseño

3.7.4. Ventana de Armado

Esta ventana muestra el arreglo de las áreas de acero, que número de varilla es la propuesta y la separación que proporciona SEDIS. A través de un isométrico se muestra el armado de forma gráfica. En caso de que el usuario quisiera cambiar la propuesta de SEDIS en el número de varilla y la separación no puede ser posible. La propuesta de SEDIS no puede ser cambiada o modificada. A continuación se presenta la ventana de la propuesta del armado:

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

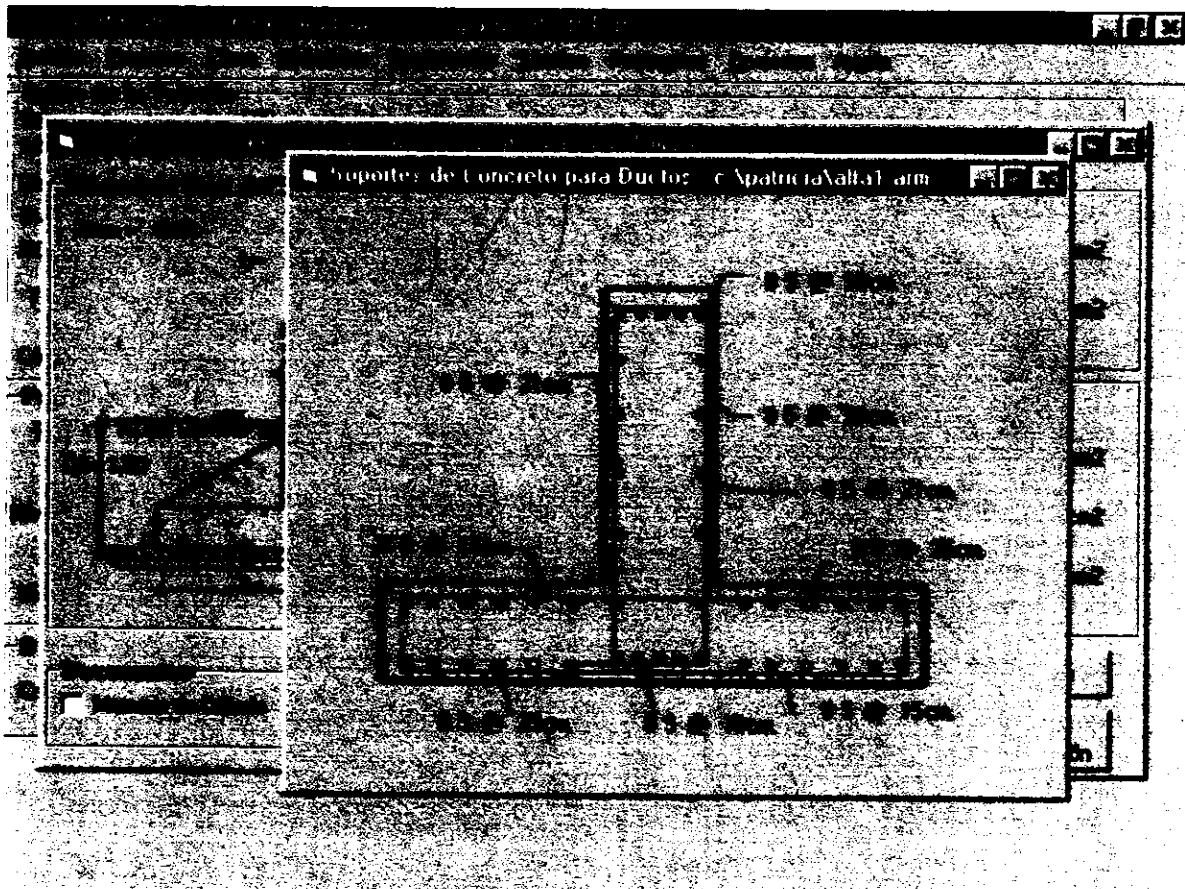


Fig. 3.5. Ventana de Armado

3.7.5. Cuantificación.

Esta ventana muestra los rubros considerados en el catálogo de conceptos y las cantidades calculadas por el algoritmo de cuantificación; estos resultados no se pueden modificar sólo son informativos para que el usuario pueda ver de forma más clara los resultados. La ventana aparecerá sólo cuando se esté en la ventana de resultados y se haga click con el mouse al comando de cuantificar, para regresar a la ventana de resultados sólo hay que hacer click en el comando de resultados y se cerrara la ventana de cuantificación.

3.8. Ayuda en línea para el usuario.

La ayuda esta en el menú de la ventana principal como se puede observar en la figura 3.2, así pues se puede consultar quienes colaboraron para el desarrollo de SEDIS, el glosario de

términos, las consideraciones almacenadas en la base de conocimientos, que datos son heurísticos, como usarlo y las partes que lo componen, así como la forma de operarlo (un manual básico explicado que hace cada comando).

El menú de ayuda contiene la siguiente información, y esta clasificada de la siguiente manera:

1.- Temas de Ayuda o contenido con temas de interés para el usuario como una breve introducción, ¿Qué hace?, ¿Cómo usar?, Reglamentación considerada, y un glosario de términos en el cuál se busca por palabra los términos que no son muy claros para el usuario.

2.- Acerca de SEDIS se presenta quienes contribuyeron al desarrollo del Sistema Experto, así como que instituciones colaboraron y a quien pertenecen los derechos.

Finalmente se puede decir que este SE de diseño esta clasificado según la forma en que opera y la complejidad del mismo, en la siguiente clase:

Asistente: porque es un pequeño sistema basado en conocimientos que realiza un subconjunto de una tarea experta (diseño de Soportes y además es iterativa), valioso económicamente pero técnicamente limitado. Este "asistente" es usado en computadoras personales. Considerando la clasificación de asistente SEDIS puede servir para diferentes niveles de trabajo según la forma de emplearlo.

Cabe aclarar que los SE existentes no están cerca de reemplazar a una persona experta en áreas complejas. Ya que sería muy difícil por la forma tan especial en la que un ser humano adquiere experiencia y resuelve problemas complejos.



CAPÍTULO 4

EMISIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN FINAL ASISTIDA POR COMPUTADORA.

4.1. Memoria de cálculo.

La memoria de cálculo es un documento en forma de resumen, el cual avala el proceso de diseño estructural de cualquier estructura, en ella se deben plasmar las consideraciones, normatividad y métodos que se aplicaron para el diseño, así como los resultados obtenidos por el método de diseño usado.

4.1.1. Lineamientos generales para la memoria de cálculo.

Dentro de la memoria de cálculo se presentan diversas etapas de trabajo como las consideraciones, el desarrollo del diseño, etc., por lo que el formato de una memoria de cálculo debe contener los siguientes requisitos mínimos (*Ref: FABAC-022*):

- El número de proyecto o contrato para su rápida localización
- El nombre del proyecto
- El nombre del personal que elaboró la memoria y
- La fecha de emisión.

Normatividad y procedimientos utilizados: En este apartado se mencionarán los reglamentos y procedimientos que fueron utilizados en el proceso de diseño.

Desarrollo: Aquí es donde se recopilará toda la información generada por el proceso de diseño, llegando a un diseño final, este apartado es la esencia de la memoria ya que en él se presentan no sólo los procedimientos, reglamentación aplicable al caso, sino también los criterios del ingeniero que se utilizaron durante el proceso de diseño.

A continuación se mostrará un ejemplo de una memoria de cálculo convencional hecha a mano:

Título:

Diseño de soportes de concreto para tuberías de hidrocarburos

No. de proyecto:

FA-0001

Nombre del proyecto:

Estación de almacenamiento; Coatzacoalcos, Ver.

Nombre de la persona que elaboró:

Ing. Patricia Tobías

10 de Marzo de 1998.

Descripción: Diseño para soportes de concreto de tuberías conductoras de hidrocarburos. El soporte es una estructura de concreto armado, comunmente llamada zapata corrida, sobre esta zapata están apoyados los ductos.

El soporte tipo es el siguiente:

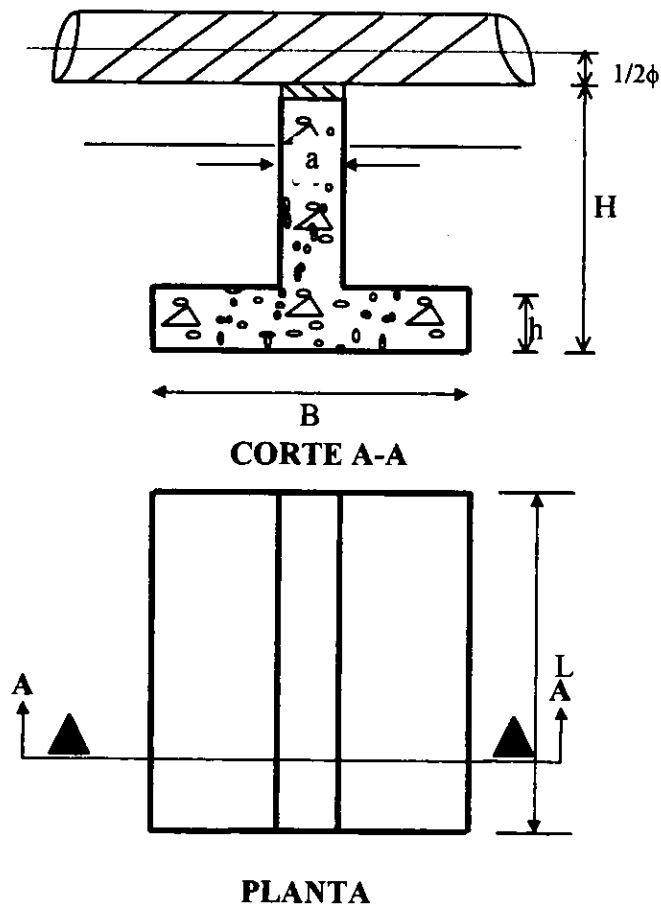


Fig. 4.2. Soporte para ductos de hidrocarburos

Normatividad y procedimientos utilizados: Se utilizó el reglamento de Construcciones para el Distrito Federal edición de 1996 y sus Normas Técnicas Complementarias respectivas para diseño

Desarrollo: Resultados del diseño

En el prototipo que trata esta tesis el documento que elabora SEDIS es un listado y no muestra ningún croquis como representación gráfica, pero si contiene los requerimientos mínimos que se mencionaron. En el capítulo siguiente podremos observar el formato que produce SEDIS.

4.2. Dibujo asistido por computadora.

En el área que nos compete que es la Ingeniería Civil la computadora ha tomado un lugar especial ya que de una u otra forma ayuda al ingeniero a realizar su tarea; al hacer un plano que es la representación gráfica del diseño de una estructura, al efectuar este dibujo con la ayuda de una amplia gama de programas de computo enfocados al dibujo que se han creado, se simplifica esta actividad. Antes de la aparición de estas herramientas en un principio se recurrían a herramientas manuales para elaborar dichos planos, como los son reglas, grafos o estilógrafos, escuadras, etc. y un dibujante se encargaba de este trabajo. Con esta comparativa se puede decir que se ha logrado optimizar no sólo el tiempo de ejecución de esta actividad, sino también se ha logrado la reducción de costos por las horas hombre que implica la misma, haciéndola cada vez más rentable y versátil.

Pero no sólo se busca optimizar el tiempo al dibujar sino se busca que se integren estos programas de forma que la mano del ser humano ya casi no intervenga en la elaboración, esto quiere decir que si el programa de dibujo se integra a un SE, pasa a formar parte de este y por medio de archivos de liga se continúe el proceso de diseño, claro teóricamente se efectuaría de forma automática el dibujo.

4.2.1. Fundamentos de dibujo asistido por computadora.

Los programas de dibujo asistido por computadora son aplicaciones que ofrecen un ambiente de entidades primitivas gráficas como lo son los puntos, las líneas, círculos, etc., al combinar estas primitivas por medio de instrucciones se comienza a manipular estas entidades y se vuelven más complejas, así se crea el dibujo, que de otra forma se haría manualmente. Es necesario contar con un medio físico y mecánico para imprimir estas entidades en un papel, estos pueden ser una impresora o un graficador (plotter), el tipo de equipo que se utiliza para la impresión de los dibujos depende del tamaño y la calidad que se requiera.

Las ventajas de efectuar el plano con la ayuda de programas de computo para dibujo son las siguientes: al efectuar un dibujo se guarda en un medio magnético (disket), en caso de que se necesiten modificaciones, sólo se busca el archivo y se efectúan, al imprimir este dibujo se

obtiene un trabajo con muy buena calidad. También al crear estos archivos se va conformando una biblioteca de la documentación que se va realizando no sólo de los planos completos, sino de detalles que son típicos e incluso especiales que se repiten en ciertos casos, este sistema tiene la gran ventaja de ahorrar el tiempo de volver a rehacer los dibujos, así sólo se copia el dibujo de interés.

Al efectuar todo este proceso se logra automatizar una parte importante del proceso integral de la elaboración de un proyecto, pero esto no es todo, se ha tratado de que la automatización sea integral, esto quiere decir que al ligar el programa de dibujo a la arquitectura del SE se busca que los dibujantes realicen los menos dibujos posibles, encargando esta tarea al SE en un futuro no muy lejano.

4.2.2. Estándares de dibujo.

Ya que el plano es la representación gráfica del diseño, este debe ser lo más claro y completo posible para poder llevar de la manera más adecuada la ejecución de la estructura en obra, por lo que dentro del plano se fijan estandarizaciones de dibujo, así pues un plano de soportería debe cumplir con los siguientes requisitos de estandarización:

A. Tamaño del plano:

Debe ser adecuado, no debe quedar ni muy vacío, ni muy lleno, preferentemente los tamaños de los planos (papel) serán:

Tamaño A	21.5 x 28.0 cm.	(1 Carta)
Tamaño B	43.0 x 28.0 cm.	(2 Cartas)
Tamaño C	56.0 x 42.0 cm.	(4 Cartas)
Tamaño N	56.0 x 91.4 cm.	(8 Cartas)

El más usado en el Instituto Mexicano del Petróleo es el tamaño N

B. Escalas:

Para efectos del plano de soportería este no usa escalas ya que sólo se muestran detalles y cortes, así como los arreglos de las secciones, cabe aclarar que como son croquis deben estar lo más proporcionados posibles, para poder ver los detalles como la fijación de la canal al concreto, pero en caso contrario que se requiera de utilizar escalas se usarán las más comunes: como 1/10, 1/20, 1/40, para detalles y 1/50 o 1/100 para localizaciones.

C. Dimensiones:

- Acotaciones: estas se expresaran en centímetros y para elementos estructurales de acero en milímetros.
- Angulos: se expresarán en grados, minutos y segundos
- Las coordenadas de localización se definirán en metros o kilómetros según convenga.
- Las elevaciones se tomaran en referencia a un banco de nivel preestablecido y se indicarán en metros.

E. Detalles:

Los necesarios, para que no quede lugar a dudas a la hora de construir la estructura, como el anclaje de la canal al concreto del soporte, plantas, elevaciones, cortes, etc.

F. Notas de construcción y generales:

Las notas de construcción especifican algunos requerimientos, como lo pueden ser, el tipo de cemento a usar, la resistencia de los diferentes tipos de concretos en su caso y acero de refuerzo, el tipo de acero estructural, las especificaciones de recubrimientos, longitud de ganchos y traslapes, indicaciones para la separación de varillas, el tipo de material de relleno, así como la compactación del mismo, espesores de plantillas, si existen carteles, chaflanes, etc.

Para las notas generales, se puede informar en estas en que unidades están las acotaciones, niveles, coordenadas; cual es el punto o banco de referencia de los niveles, etc.

Para poder identificar de una forma fácil y rápida el plano y sus componentes procurando que no haya dudas sobre la construcción de la misma se le anexarán los siguientes datos como mínimos:

G. Pie de plano incluye:

- El logotipo de la firma de ingeniería que lo realiza y el nombre de la misma.
- El nombre del plano y el número
- El nombre del proyecto.
- El número de contrato que ampara el proyecto en caso de que exista.
- La edición del plano y su fecha de su última modificación, así como el número de revisión.
- Lugar en donde se realizará la construcción de la estructura.
- El número de archivo que identifique donde esta guardado el plano.

H. Tablas:

- En las cuales se especifique la clave de los diferentes soportes.
- Las dimensiones (largo, ancho, peralte, niveles)
- Armados
- Número de piezas

I. Nomenclatura para poder identificar las abreviaturas del plano como:

- N.S.D. Nivel superior de dado.
- N.D. Nivel de desplante.
- N.T.N. Nivel de terreno natural.
- T.L. Tubo de liga.

J. Croquis de localización:

Sirve para poder situar la estructura en el contexto de un área específica o de una instalación, la cual no es muy grande pero permite dar una idea general de la ubicación; el croquis no está a escala y da una referencia de donde se localiza de forma general la estructura.

4.2.3. Arreglo y dibujo de las secciones y detalles.

El plano debe tener una distribución tal que permita ver todos y cada uno de los dibujos de una forma clara y específica, no deben estar agrupados en un área reducida, deben seguir una relación coherente, entre ellos. Por ejemplo, el pie de plano va del lado inferior derecho, las notas del lado derecho, las tablas en la parte inferior del plano, y el resto del área es para los dibujos de las estructuras. También cabe aclarar que un plano que no contenga los suficientes dibujos es un plano mal distribuido, por lo que se debe encontrar el balance del mismo.

4.3. Cuantificación de materiales.

La actividad de cuantificar los volúmenes de obra tiene una gran importancia, ya que de este proceso depende el costo de la obra o estructura que se trate, así mismo el método y las consideraciones que se hagan influyen en el resultado final por lo que es importante no sólo tomar en cuenta las actividades que se van a realizar durante la construcción, sino también los alcances de dichas actividades, ya que una omisión de estas impacta en el presupuesto originalmente considerado creándose conceptos extraordinarios que no estaban contemplados inicialmente.

4.3.1. Lineamientos para la cuantificación.

Se deben tener en mente todas las actividades que intervendrán en la construcción de un soporte, por lo que es importante verificar y hacer un estudio de éstas para ver si intervienen o no finalmente. Las cantidades deben ser lo más cercanas a la realidad ya que de lo contrario se crearía una situación en la que posterior al inicio de la construcción generaría excedentes de obra,

estos no están contemplados en el presupuesto original e impactarían en el costo si el excedente es una cantidad considerable. Es por esto que la cuantificación del volumen de obra debe estar calculado de forma que no haya lugar a omisiones y errores en los resultados. También se debe tomar en cuenta todas y cada una de las actividades que intervienen, de lo contrario como se menciono se generarían conceptos extraordinarios impactando todavía más el presupuesto.

4.3.2. Formato y catálogo para los conceptos de obra.

El catálogo de conceptos es el documento final que se emite después de haber realizado la cuantificación, en este deben estar cada una de las actividades y los alcances necesarios para llevar a cabo la construcción de la estructura. El catálogo se puede dividir en rubros, como por ejemplo: preliminares, obra civil, instalaciones, etc. , o por estructuras (soportes, bases, zapatas, etc.), independientemente del tipo de catálogo que se seleccione, este debe incluir las actividades que intervienen en el proceso de construcción. Pero independientemente del arreglo que tenga el catálogo, este debe contener la información mínima necesaria para que el contratista considere y cobre las actividades necesaria que intervienen en la ejecución de la obra. Esta información es:

- La clave del concepto.- para poder identificarlo de una forma fácil y rápida
- El concepto.- que incluye la actividad a desarrollar y los alcances de la misma.
- La unidad.- en la cual se deben cuantificar y cobrar dichos conceptos.
- La cantidad o magnitud.- esta es calculada lo más cercano posible a la realidad y debe estar basada en los planos de proyecto
- El precio Unitario.- este es calculado por la contratista haciendo las consideraciones pertinentes.
- El importe.- es el resultado de multiplicar la cantidad por el precio unitario, es el valor de toda la actividad.

A continuación se presenta un ejemplo de un catálogo de conceptos en el cual intervienen las actividades propias de la construcción de soportes de concreto, el precio unitario y el importe no se consideran ya que como se mencionó anteriormente estos son fijados por el contratista.

LOGOTIPO	NOMBRE DE LA OBRA:	No DE CONTRATO No DE HOJA
----------	--------------------	------------------------------

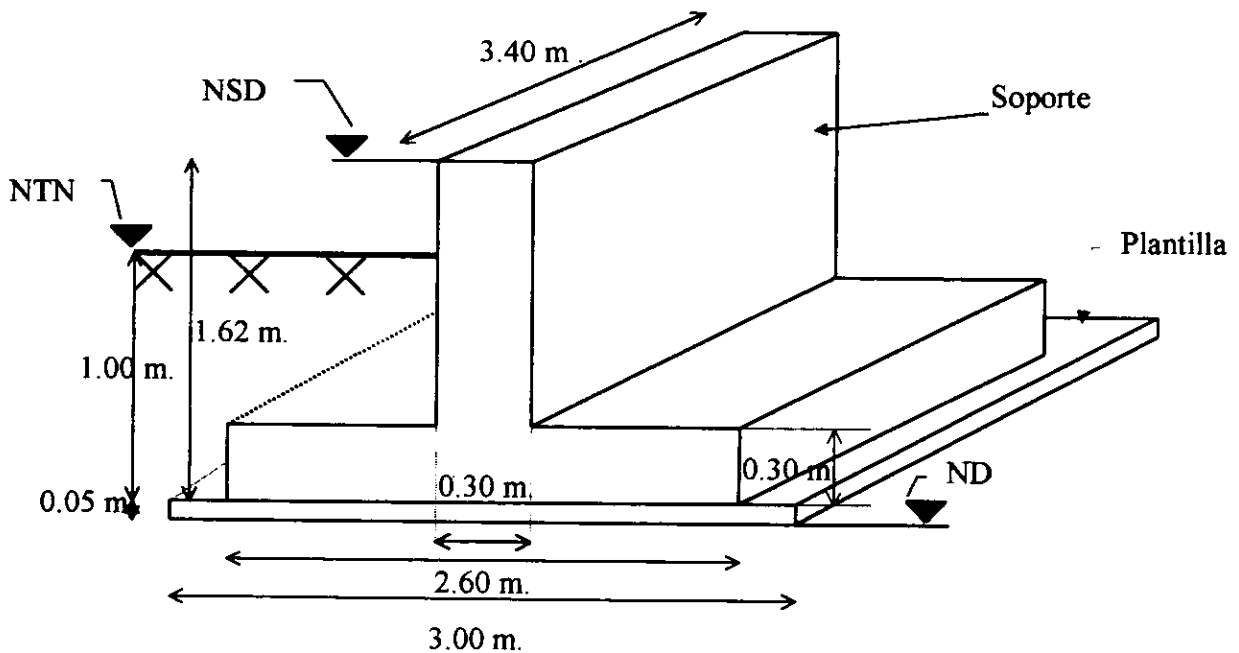
Clave	Concepto	Unidad	Cantidad
	Soporteria de concreto		
	Limpieza en áreas urbanas o urbanizadas y trabajos topográficos	M ²	
	Trazo y nivelación	M ²	
	Cantidad con letra:		
	Excavación para estructura, tuberías de proceso, drenajes y canales.		
	Excavación en zanja para estructura con herramienta manual y/o equipo (volumen medido en banco)	M ³	
	Material A con profundidad hasta 2.00 m.		
	Cantidad con letra:		
	Material B con profundidad hasta 2.00 m.	M ³	
	Cantidad con letra:		
	Cargas, acarreo y traspaleos con herramienta manual (volumen medido suelto)		
	Carga y acarreo hasta 50 m. en carretilla.	M ³	
	Cantidad con letra:		
	Terraplenes, rellenos y ademes rellenos con herramienta manual.	M ³	
	Compactado al 95 % de la prueba proctor.		
	Cantidad con letra:		
	Elaboración de concretos hidráulicos agregado máximo 19 mm.		
	Cemento normal.		
	f'c = 100 Kg. / cm. ²	M ³	
	Cantidad con letra:		
	f'c = 250 Kg. / cm. ²	M ³	
	Cantidad con letra:		
	Vaciado con botes y carretilla, acarreo hasta 50 m. en:		
	Plantillas y firmes con 5 cm. de espesor	M ²	
	Cantidad con letra:		
	Dados, zapatas, contratrabes, losas, cimientos.	M ³	
	Cantidad con letra:		
	Cimbrados en zapatas, dados contratrabes, losas, cimientos.	M ²	
	Cantidad con letra:		

Habitado y colocación de acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ Kg./cm}^2$. 13 mm. (Num. 4) Cantidad con letra:	Ton	
16 mm. (Num. 5) Cantidad con letra:	Ton	
19 mm. (Num. 6) Cantidad con letra:	Ton	
25 mm. (Num. 8) Cantidad con letra:	Ton	
Fabricación de estructuras metálicas; incluye todos los herrajes necesarios con los perfiles semipesados de: 12 a 60 Kg. / m. Cantidad con letra:	Ton	
Montaje de estructura metálica hasta 20 m. de altura con perfiles semipesados de 12 a 60 Kg./m. Cantidad con letra:	Ton	

Al igual que en la memoria de cálculo SEDIS elabora el documento de cuantificación en forma de una lista que contiene todos los rubros que intervienen en la elaboración de un soporte y a continuación del nombre del concepto se tiene la cantidad que calculo el SE. En el capítulo siguiente podremos observar el formato que produce SEDIS.

4.3.3. Ejemplo numérico.

Para el diseño del soporte del capítulo 2, se procederá a realizar la cuantificación correspondiente. A continuación se presenta una forma de cuantificar los volúmenes de materiales que intervienen en la fabricación del soporte. Cabe mencionar que el algoritmo de cuantificación esta basado en las consideraciones y forma del ejemplo.



Siguiendo la estandarización del catálogo de conceptos se tiene los siguientes conceptos generales:

- Trazo y nivelación:

$$\text{Trazo y nivelación} = (3.40\text{m.} + 2 \cdot 0.5\text{m.}) (2.60\text{m.} + 2 \cdot 0.5\text{m.}) = 15.84 \text{ m}^2.$$

- Excavación:

Haciendo las consideraciones necesarias que se indicaron anteriormente se tiene que:

$$\text{Excavación} = (4.40 \text{ m.}) (3.60 \text{ m.}) (1.05 \text{ m.}) = 16.63 \text{ m}^3.$$

- Cargas, acarreo, y traspaleos:

Volumen de la zapata enterrada: $V_z = (3.40 \text{ m.})(2.60 \text{ m.})(0.30 \text{ m.})$
 $(3.40 \text{ m.})(2.60 \text{ m.})(0.70 \text{ m.}) = 8.84 \text{ m}^3$

Volumen de la plantilla: $V_p = (3.80 \text{ m.})(3.00 \text{ m.})(0.05 \text{ m.}) = 0.57 \text{ m}^3$

Volumen ocupado : $V_o = 8.84 \text{ m}^3 + 0.57 \text{ m}^3 = 9.41 \text{ m}^3$

Volumen para acarreo:	$V_{ac} = 16.63 \text{ m}^3 - 9.41 \text{ m}^3 =$	7.22 m^3
Volumen abundado del Vac	$V_{ab} = 1.30 * (7.22 \text{ m}^3) =$	9.39 m^3

* es el factor de abundamiento del material extraído.

-Terraplenes, rellenos, compactados al 90% de la prueba proctor:

$$V_{ac} = E - V_o = 7.22 \text{ m}^3$$

- Elaboración de concreto:

para la plantilla con un $f'c = 100 \text{ Kg. / cm}^2$

$$\text{Volumen de plantilla} = V_{cp} = (3.80\text{m.})(3.00\text{m.})(0.05\text{m.}) = 0.57 \text{ m}^3$$

para el concreto de la zapata con un $f'c = 250 \text{ Kg. / cm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la zapata} = V_{cz} &= [(3.40\text{m.})(2.60\text{m.})(0.3\text{m.})] + \\ & [(3.40\text{m.})(0.3\text{m.})(1.62\text{m.} - 0.3\text{m.})] = 4.00 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

- Vaciado con botes o carretilla del concreto:

$$\text{Para la plantilla} = 0.57 \text{ m}^3$$

$$\text{Para la zapata} = 4.00 \text{ m}^3$$

- Cimbra de contacto:

$$\text{Para la zapata: } (2.60 \text{ m.})(0.30 \text{ m.})(2 \text{ pzas.}) = 1.56 \text{ m}^2$$

$$(3.40 \text{ m.})(0.30 \text{ m.})(2 \text{ pzas.}) = 2.04 \text{ m}^2$$

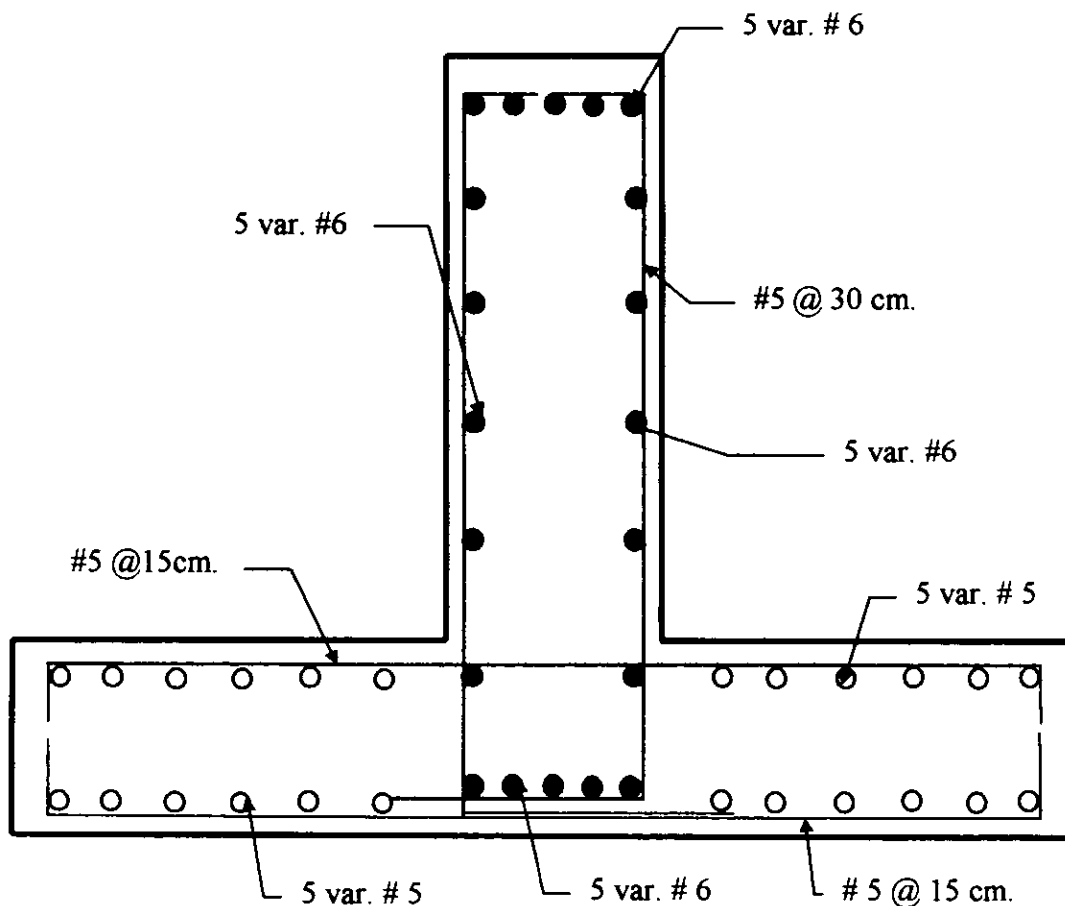
$$\text{Para la contratrabe: } (1.32 \text{ m.})(3.40 \text{ m.})(2 \text{ pzas.}) = 8.98 \text{ m}^2$$

$$(1.32 \text{ m.})(0.30 \text{ m.})(2 \text{ pzas.}) = 0.80 \text{ m}^2$$

$$\text{Total: } = 13.38 \text{ m}^2$$

-Habilitado y colocación de acero:

La sección de la zapata y el armado de la misma es el siguiente:



Para varillas del # 5 (1.56 Kg/m) se tiene:

$$2.60\text{m.} - 2(0.05) + 2(0.1908) = 2.88\text{m.} (23\text{var.}) (2) = 132.55\text{m.} (1.56\text{Kg./cm}^2) = \mathbf{206.78 \text{ Kg.}}$$

$$1.62 \text{ m.} - 2(0.05) + 0.1908 + 0.636 = 2.35\text{m.} (12\text{var.}) (2) = 56.32\text{m.} (1.56\text{Kg./cm}^2) = \mathbf{87.86 \text{ Kg.}}$$

$$3.40 \text{ m.} - 2(0.05) + 2(0.1908) = 3.68 \text{ m.} (5 \text{ var.}) (4) = 73.63\text{m} (1.56 \text{ Kg./ cm}^2) = \mathbf{114.86 \text{ Kg.}}$$

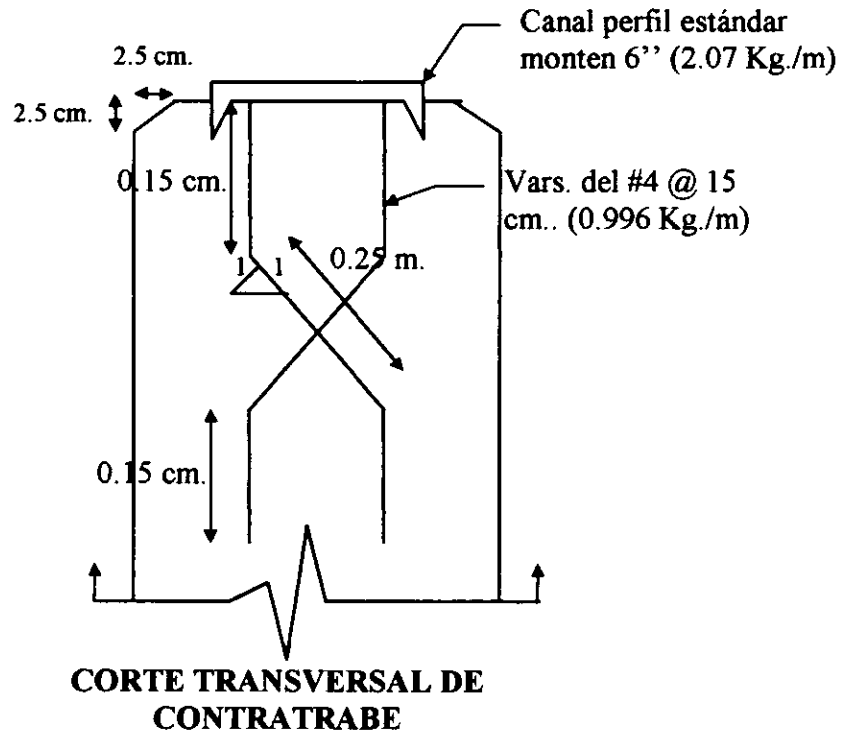
$$\mathbf{\text{Suma}} = \mathbf{409.50 \text{ Kg.}}$$

Para varillas del # 6 se tiene:

$$3.40 \text{ m.} - 2(0.05) + 2(0.228) = 3.76 \text{ m.} (5\text{var.}) (4) = 75.12 \text{ m.} (2.250 \text{ Kg./cm}^2) = \mathbf{169.02 \text{ Kg.}}$$

∴ Para varillas del # 5 se tiene : **409.50 Kg.**

Y para varillas del # 6 se tiene : **169.02 Kg.**

- Anclaje típico para soportes de concreto:**Fig.4.2. Detalle del Anclaje de la canal.**

$$\text{No. de piezas} = \frac{3.40 \text{ m.}}{0.15 \text{ m.}} = 23 \text{ pzas}$$

$$\text{Longitud del anclaje: } 2(0.15 \text{ m.}) + (0.25 \text{ m.}) = 0.55 \text{ m.}(2) = 1.10 \text{ m.} (0.996 \text{ Kg./ m.}) = \mathbf{25.20 \text{ Kg.}}$$

- Canal de acero para posar la tubería:

Canal de 6'' de peralte con un peso de 23.07 Kg./m:

$$3.40\text{m.} - 2(0.025\text{m.}) = 3.35 \text{ m} (23.07) = \mathbf{77.28 \text{ Kg.}}$$

4.3.4. Algoritmo de cuantificación.

Para poder llevar a cabo la cuantificación, se deben seguir ciertos pasos los cuales tienen una secuencia coherente, esta actividad sólo requiere de un algoritmo bien definido y llevar un orden establecido. A continuación se muestra el algoritmo de cuantificación empleado en SEDIS.

Rules:

{ Volumen de obra }

{ Cálculo de la excavación }

- R.7.10 $E = [L + 2(0.5)] [B + 2(0.5)] [Df + 0.05]$ m^3
- R.7.20 Cálculo de cargas, acarreo y traspaleos
- R.7.21 Cálculo del volumen de la zapata enterrada
 $Vze = BLDf$
- R.7.22 Cálculo del volumen de plantilla
 $Vp = [L + 2(0.20)] [B + 2(0.20)] [0.05]$ m^3
- R.7.23 Cálculo del volumen ocupado:
 $Vo = Vze + Vp$ m^3
- R.7.24 Cálculo del volumen para cargas, acarreo y traspaleos:
 $Vcat = E - Vo$ m^3
- R.7.25 Cálculo del volumen abundado
 $Va = 1.3Vcat$ m^3
- R.7.30 Cálculo de terraplenes y rellenos al 90% proctor
 $Vt = E - Vo$ m^3
- R.7.40 Cálculo del volumen de concreto:
- R.7.41 Cálculo del volumen de concreto para la zapata
 $Vzap = Lbh + La(H-h)$ m^3
- R.7.42 Cálculo del volumen de la plantilla
 $Vpc = [L + 2(0.20)] [B + 2(0.20)] [0.05]$ m^3
- R.7.50 Cálculo del vaciado de concreto para la zapata:
 ver R.7.41
- R.7.51 Cálculo del vaciado de concreto para la plantilla:
 ver R.7.42
- R.7.60 Cálculo de la cimbra de contacto
 $C = (B + L)h + (H-h)(L+a)$
- R.7.70 Cálculo del habilitado y colocación de acero:
- R.7.80 Cálculo de los ganchos:
 Ver No. de varilla elegida en R.6.20.80, R.6.30.30 y R.6.30.150

$$\text{min} = 12 d_b$$

$$\text{max} = 40 d_b$$

R.7.90 Cálculo del peso total de las varillas:

Ver No. de varilla elegida en R.6.20.80, R.6.30.30 y R.6.30.150

Para cada número de varilla se hace el siguiente procedimiento:

$$L \text{ var.} = \text{Longitud del lado que se tome (L o B)} - 2(0.05) + 2\text{gancho.}$$

$$L \text{ tot.} = L \text{ var.} \times \text{Número de varillas}$$

$$W \text{ total} = L \text{ tot.} \times \text{Peso de la varilla}$$

Para cada sentido del armado se hace el mismo procedimiento y finalmente se suman los pesos por número de varilla

4.3.5. Números generadores.

Los números generadores son la memoria de cálculo de la cuantificación, es el documento en el cual se plasman las consideraciones y criterios que se siguieron para hacer dicha actividad por lo que estos deben contener toda la información necesaria, para que no haya lugar a dudas al hacer una revisión de esta actividad. Debe contener las operaciones efectuada, así como los resultados de las mismas, el acomodo es por actividad o rubro según el tipo de catálogo que se use.

SEDIS no elabora Números Generadores como un documento, porque todas las operaciones que efectúa las hace internamente y sólo podemos ver los resultados finales, o sea las cantidades finales con su respectivo concepto más que suficiente para el cálculo de volumen de obra. Si se desea revisar la cuantificación se puede uno remitir a esta tesis y ver como efectúa el calculo de cada concepto, ya que el SE esta basado en las consideraciones aquí expuestas.



CAPÍTULO 5

EJEMPLOS

5.1. Ejemplo con SEDIS.

Se presenta del capítulo 2 del punto 2.3 el ejemplo, empleando a SEDIS. Al abrir la ventana principal primero hay que dirigirse a la barra de menú, al hacer click en el menú Proyecto aparece una ventana llamada Datos de Proyecto para acceder los datos del proyecto como son Descripción, Número de Contrato, Fecha y Usuario de SEDIS; a continuación se presenta la ventana correspondiente:

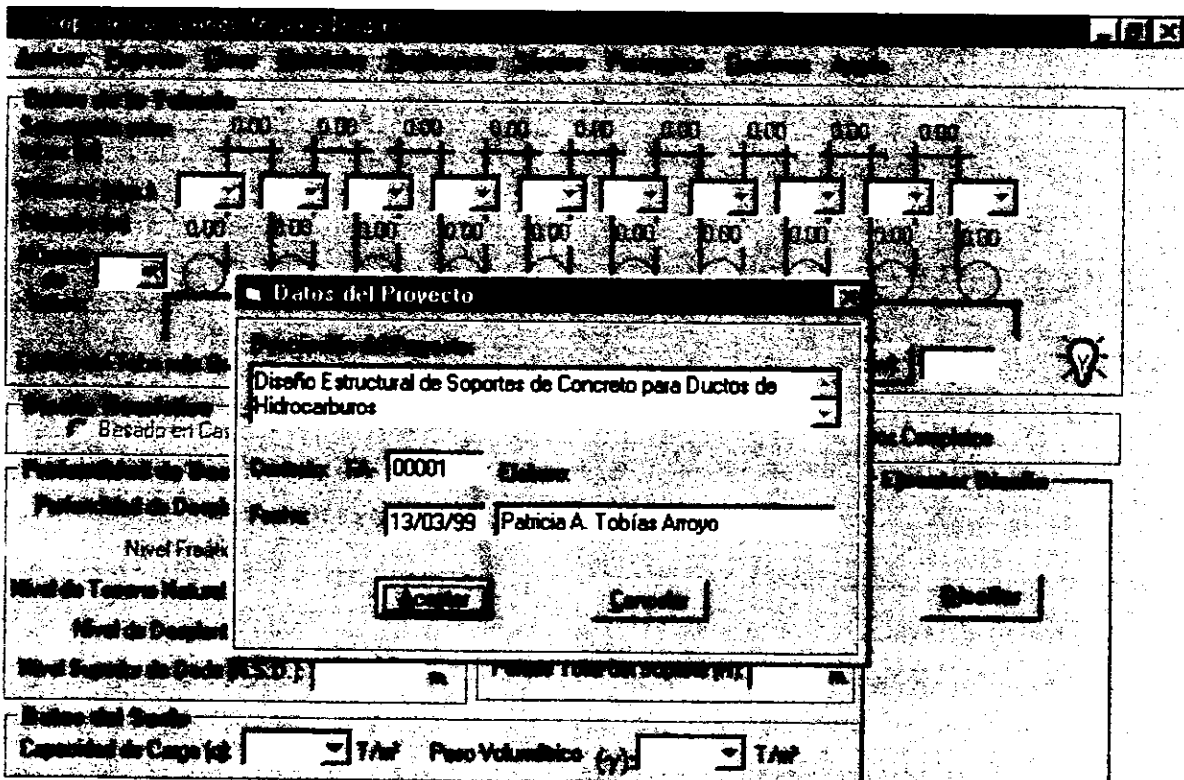


Fig. 5.1. Datos de Proyecto.

Posteriormente se hace el llenado de los datos de la ventana principal con todos los datos del ejemplo, cabe destacar que este ejemplo tiene todos los datos necesarios para ejecutar el diseño por lo tanto en las opciones de diseño heurístico se eligió Datos Completos, de lo contrario debió de haberse elegido Basado en Reglas para que SEDIS proponga las dimensiones de peralte de la zapata y ancho de contratrase con la posibilidad de poder cambiarlo.

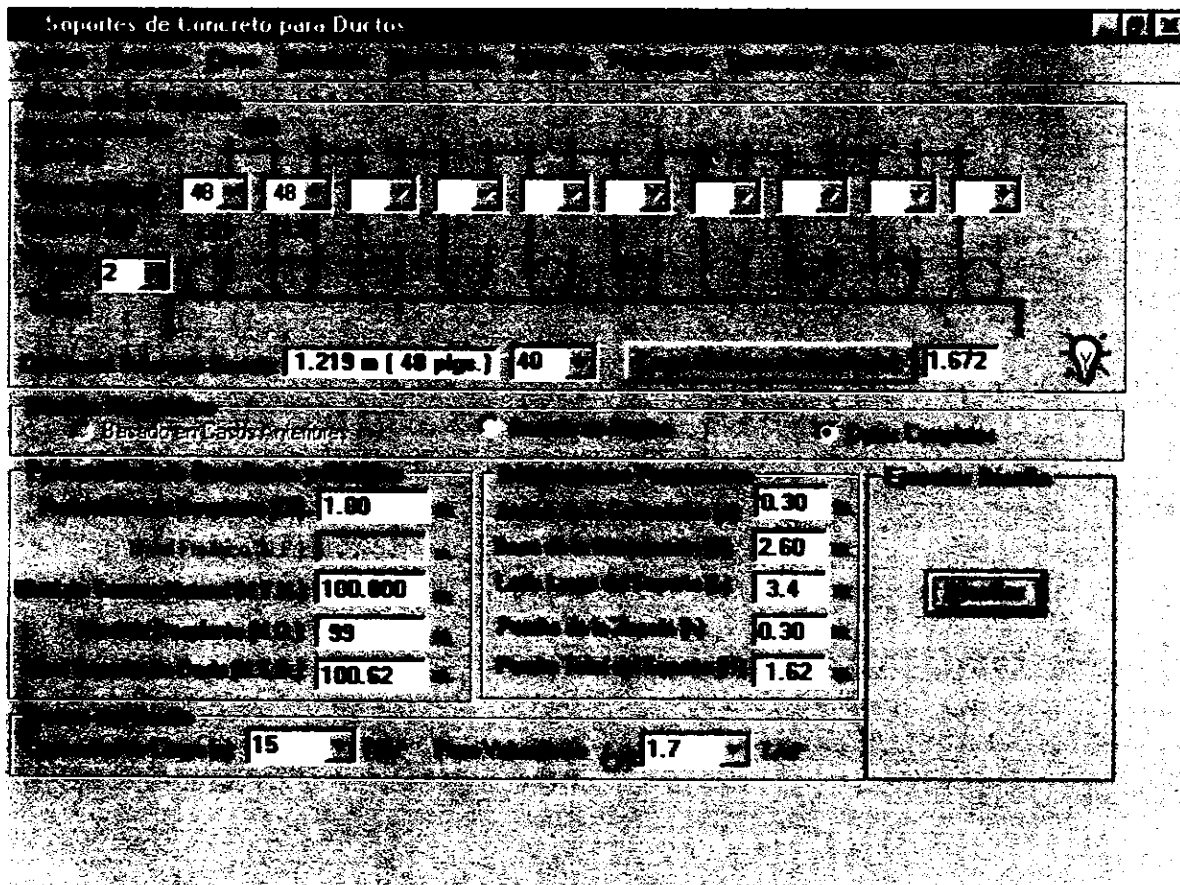


Fig. 5.2. Acceso de Datos.

Si se desea ver el isométrico del soporte con las dimensiones propuestas se hace click con el mouse en el foco que esta dentro de Datos de la Tubería.

En la barra de menú se elige el menú Reglamento para determinar el tipo de Reglamentación que SEDIS considerará para el diseño basándose en el reglamento del DDF o en los manuales de CFE según se desee, al hacer click en el menú Reglamento, en el tipo de reglamento que se desee, (para este caso se consideraron los manuales de CFE); aparece otra

ventana que contiene los factores que considera cada reglamento, se acepta o se cambia si la reglamentación a cambiado. A continuación se presenta la ventana de referencia:

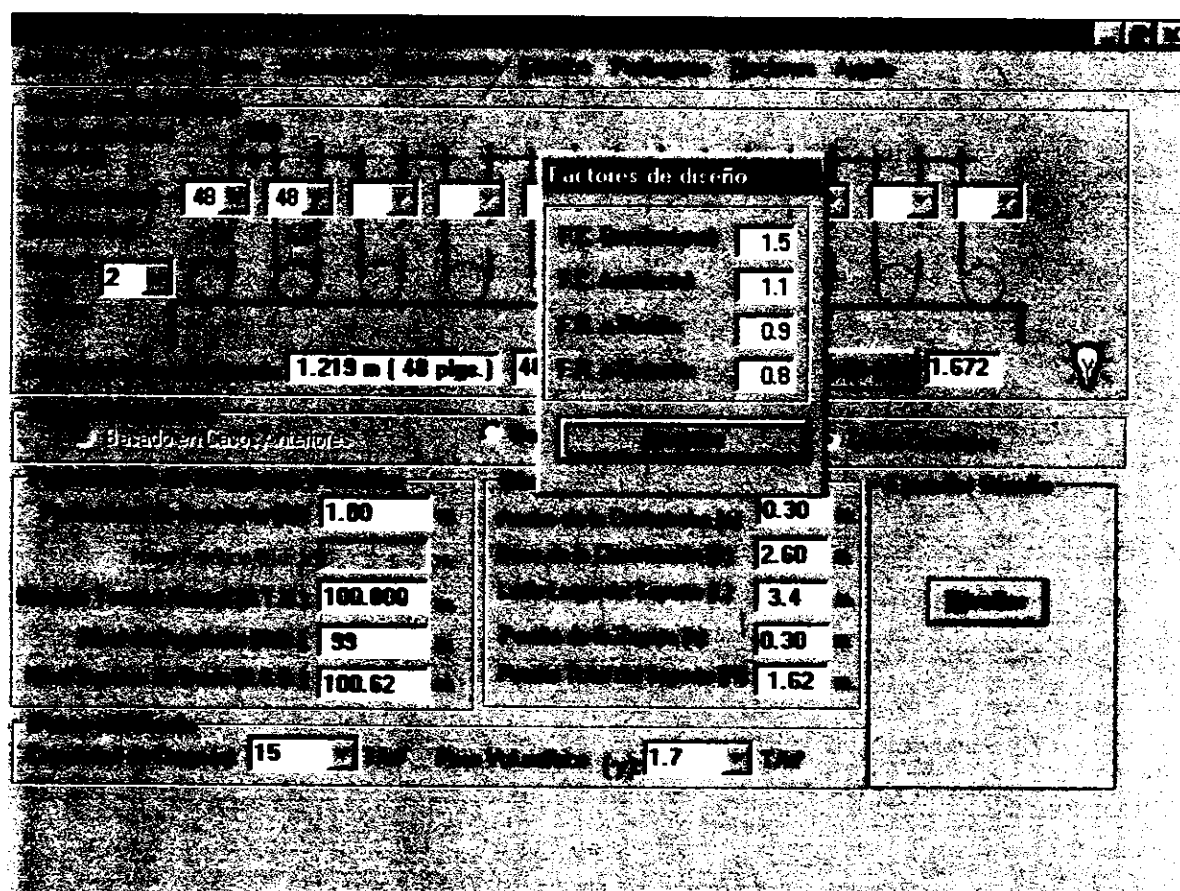


Fig. 5.3. Reglamento y Factores.

Después de haber elegido el tipo de reglamento, se procede a elegir de la barra de menú, el menú Sísmico y al hacer click con el mouse en Coeficiente Sísmico, aparece una ventana en la cual se elige la zona y/o el tipo de suelo según el tipo de reglamentación especificada anteriormente, como en el ejemplo se consideraron los manuales de CFE se tiene que accesar tanto la zona como el tipo de suelo, posteriormente se hace click con el mouse en Calcular para que el SE aparezca el coeficiente que se considerará en el diseño, después se acepta la ventana correspondiente al Coeficiente Sísmico como se muestra en es la siguiente figura:

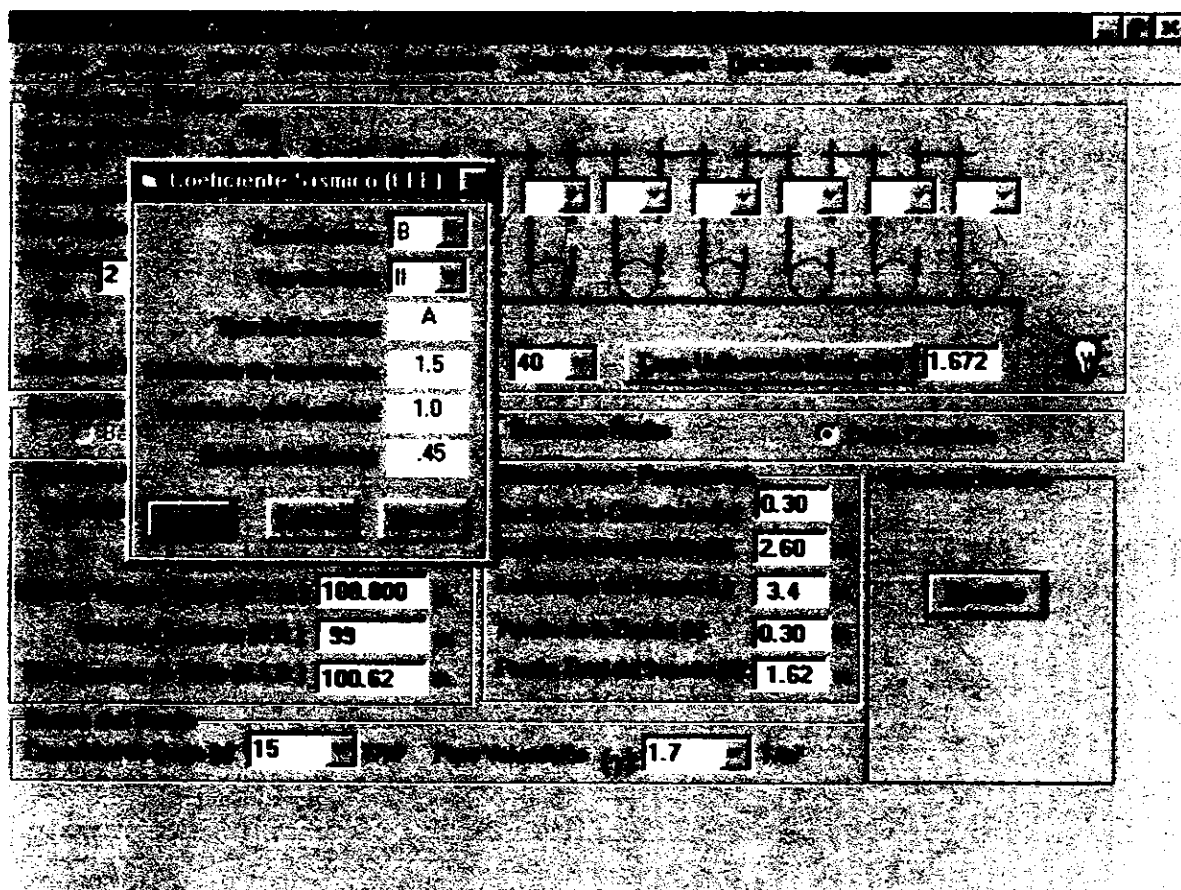


Fig. 5.4. Coeficiente Sísmico.

Se elige la clave del soporte en el menú Clave para nombrarlo, si se desea cambiar el tipo de material a usar se debe ir al menú de Materiales para cambiar las especificaciones de los mismo, puesto que el SE ya tiene considerado los valores más comunes; así mismo, SEDIS tiene parámetros establecidos para el diseño. En el menú Parámetros tenemos la separación entre tubos, el tipo de canal de fijación a usar, la separación entre soportes, la magnitud del recubrimiento para el acero, el espesor de plantilla y la magnitud del espacio entre el soporte y el paño del tubo extremo, estos también pueden cambiarse según lo crea conveniente el usuario.

Una vez que se tiene todos los datos del diseño se procede a guardar el archivo de datos, seleccionando de la barra de menús, el menú Archivo y dando un click en Guardar Como, aparece a continuación la ventana correspondiente (Guardar Archivo como...), se escribe el nombre del archivo (cualquiera que no exceda de 8 caracteres) con la extensión anl, además se

elige en que directorio se desea guardar el archivo lo más recomendable es que se guarde en el de instalación, si el directorio asignado es el elegido sólo se acepta en la ventana, así se guarda este en un archivo y se le asigna el nombre en la parte superior de la ventana

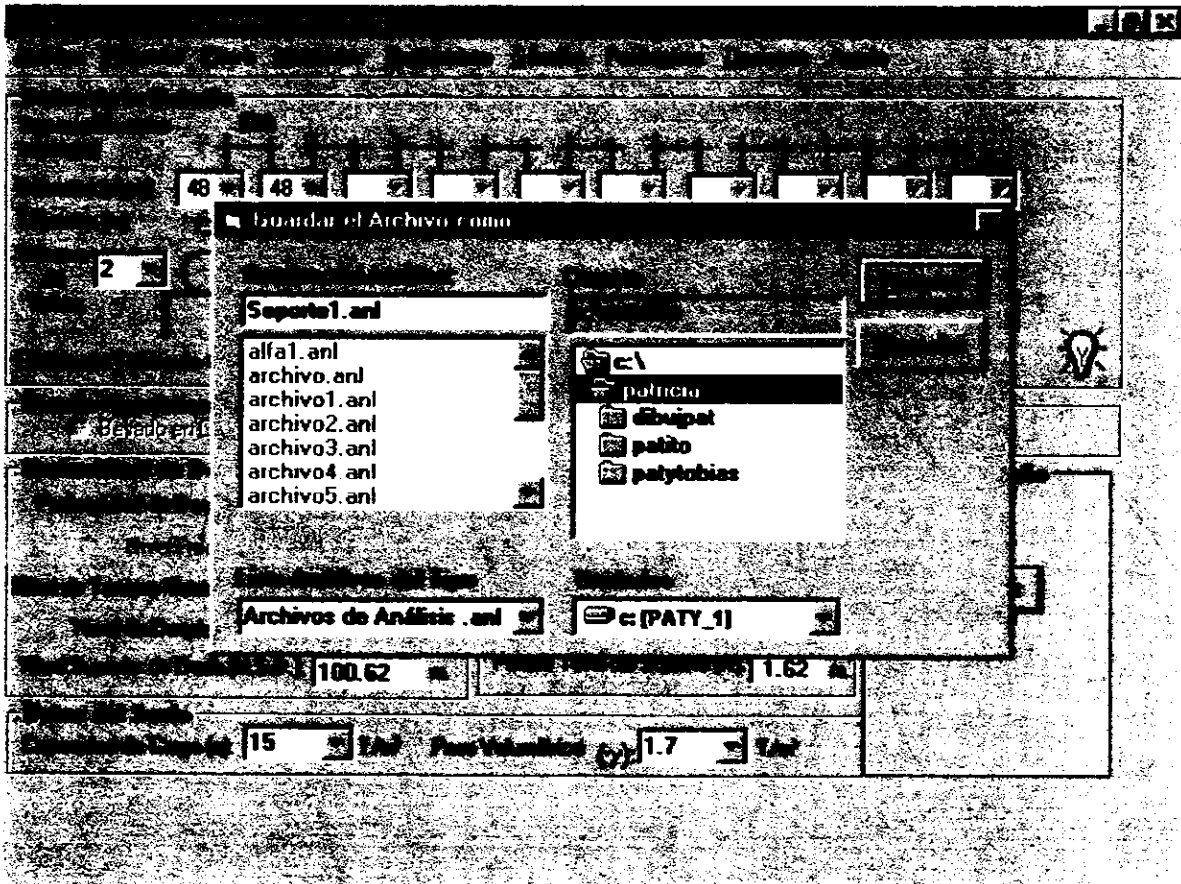


Fig. 5.5. Guardar en un Archivo.

Se debe guardar el archivo antes de comenzar el diseño, de lo contrario al hacer click en Diseñar aparecerá un mensaje en el cual se indica que se debe guardar primero el archivo. Ahora se puede comenzar con el diseño del soporte haciendo click en Diseñar:

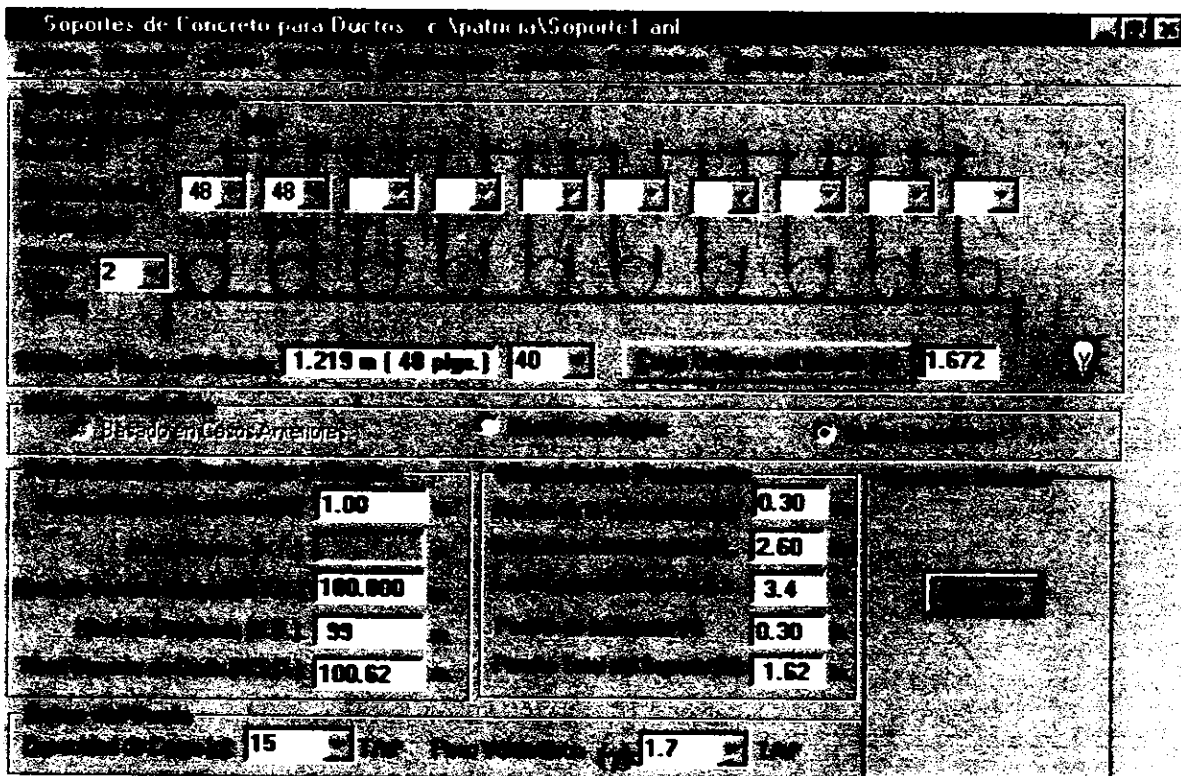


Fig. 5.6. Ventana Principal con nombre asignado

A continuación aparece la ventana de resultados, esta contiene un isométrico que muestra las dimensiones finales del soporte, las áreas de acero calculadas, el área de contacto de la zapata, y varios comandos que nos llevan a otras ventanas como la Bitácora que muestra los detalles del diseño, el comando de Cuantificar que muestra la ventana de Cuantificación. También desde esta ventana se pueden elaborar los documentos ingenieriles tales como la memoria de calculo y la cuantificación, esto se logra accedendo a un programa que puede abrir los archivos que genera SEDIS especialmente para este efecto.

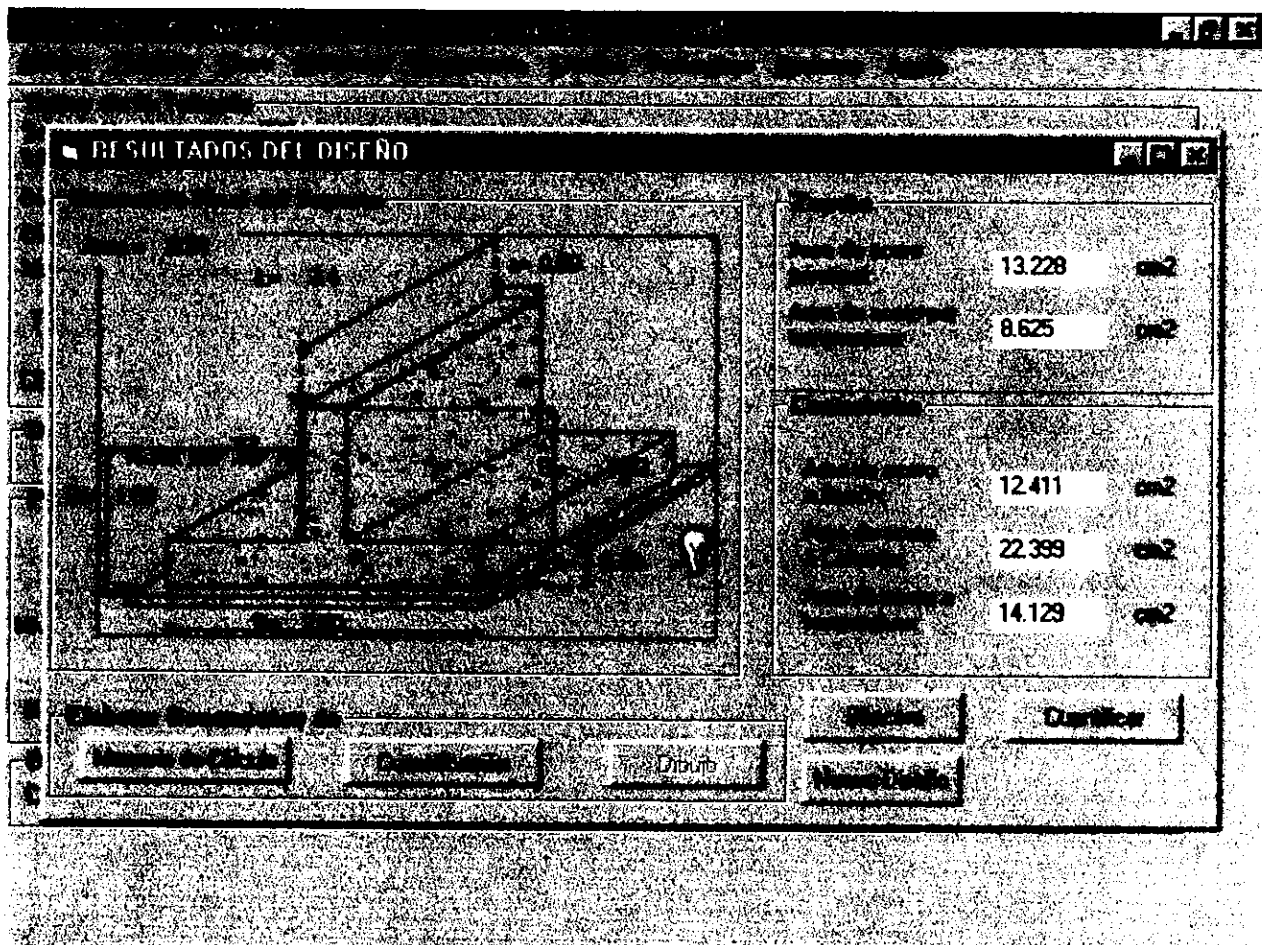


Fig. 5.7. Resultados del Diseño

Si se hace click en el foco amarillo que se encuentra en la ventana de Resultados del Diseño, se podrá ver la distribución del acero que propone SEDIS, ésta esta basada en las áreas de acero calculadas por él, aquí hago la aclaración de que el área de acero de la zapara es por cada metro de esta y las áreas de acero para la contratrabe son de toda la longitud del soporte. Este corte es esquemático, esto quiere decir que el número de varillas que se muestra en el dibujo no es necesariamente el mismo que propone SEDIS.

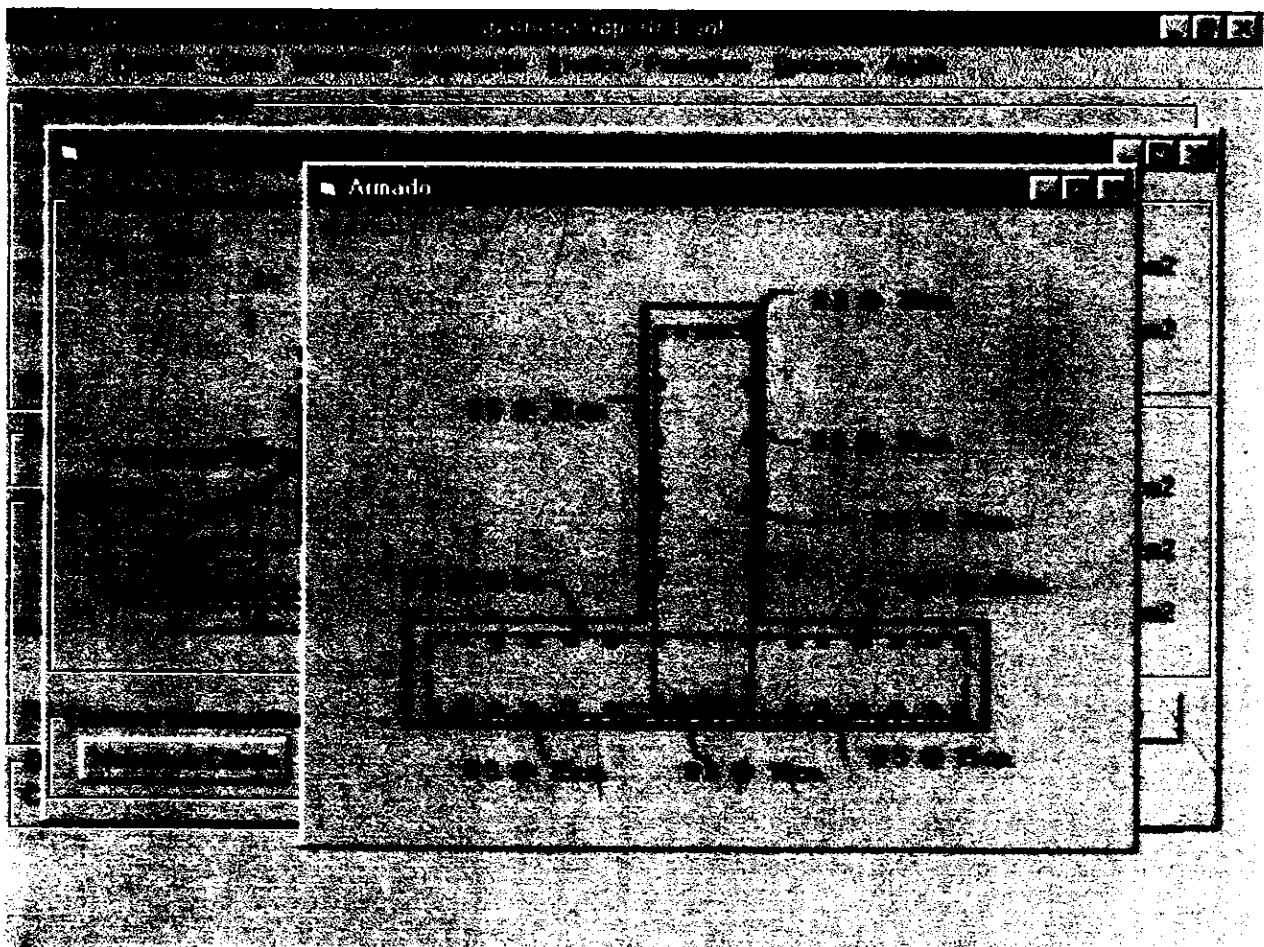


Fig. 5.8. Armado propuesto por SEDIS.

En la ventana de cuantificación encontraremos los rubros que considera SEDIS del catálogo que se mostró en el capítulo 4, así como la unidad de la cantidad calculada. Aquí cabe hacer mención que si se desea elaborar el catálogo de conceptos antes se debe hacer click en el comando Cuantificar de lo contrario aparecerá un mensaje que nos indica que debemos primero efectuar la cuantificación y no se podrá acceder a este documento hasta que se haya realizado lo indicado por SEDIS. A continuación se muestra la Ventana de Cuantificación de Materiales

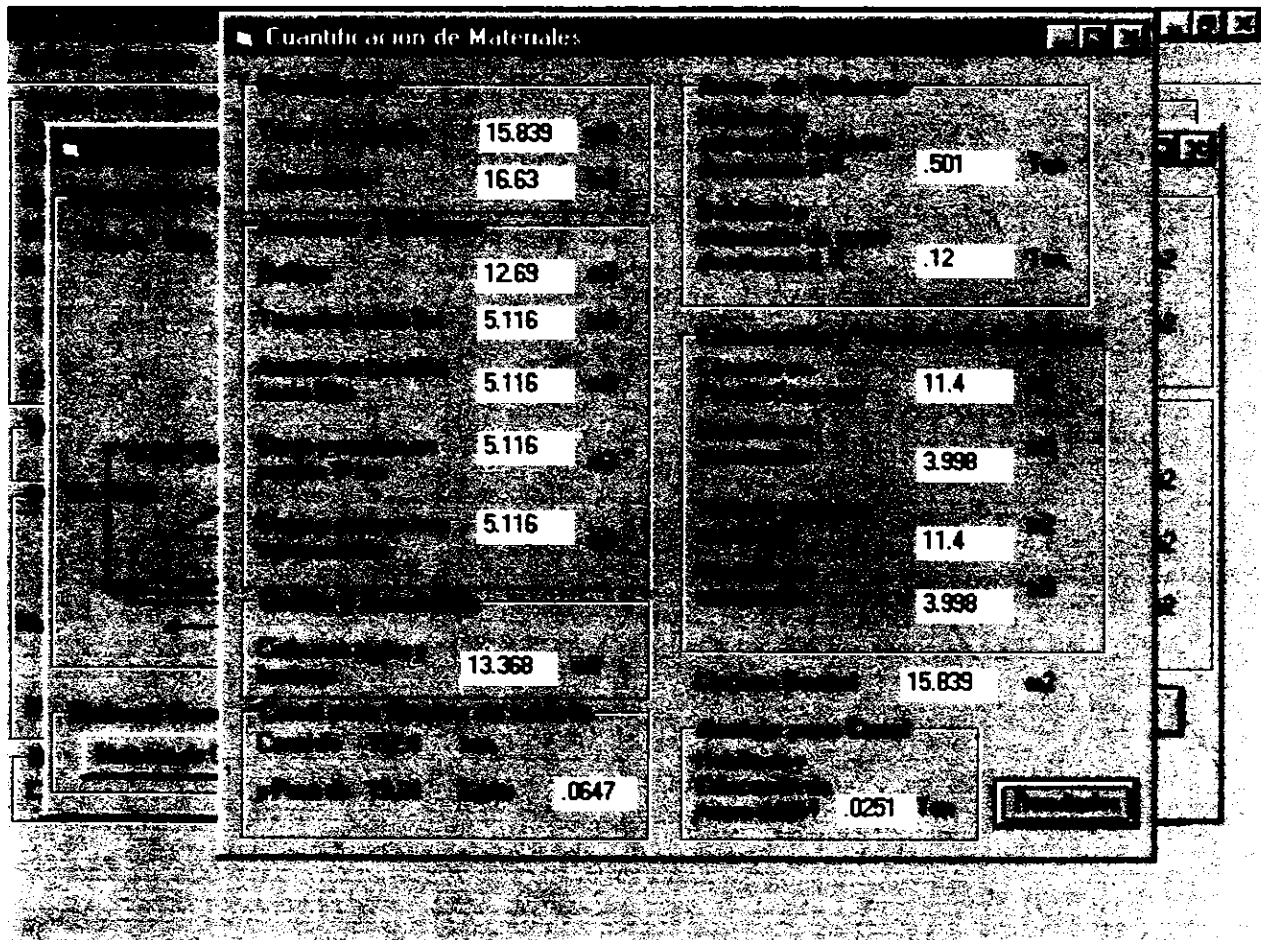


Fig. 5.9. Cuantificación.

En la bitácora de la Memoria de Cálculo se puede observar los resultados del análisis y diseño, así como las consideraciones que tomó SEDIS (las cuales se comentaron en los capítulos anteriores) mediante mensajes. Aquí no es necesario hacer primero click en el comando Bitácora si se quiere elaborar la memoria de calculo, si se desea primero ejecutarla no hay ningún problema, pero siempre es más recomendable ver los resultados antes de elaborar el documento final. La ventana siguiente muestra la forma de la bitácora de diseño.

Bitácora de Diseño					
42.437	10.53	7.02			
.0026	17.06	11.37			
.0142	10.18	11.65			
	.38	2.74			
Rige la Condición de Dilatación					
5.507			Excentricidad	.0807	
10.146			Excentricidad	.0002	
11.655			Excentricidad	.0052	
2.746					
.43					
.44					
Existe Excentricidad, puede ocurrir volteo, se efectuará una revisión			Se aumenta la cuantía para aumentar la resistencia la Cortante		
18.77			Excentricidad	.0807	
11.586			Excentricidad	.0002	
26.835			Excentricidad	.0026	
No se tienen problemas por fuerza cortante					

Fig. 5.10. Detalles de Diseño (Bitácora).

En las páginas siguientes se muestran la documentación que emite SEDIS (Memoria de Cálculo y Cuantificación) en el formato de lista.

"Número de Contrato:"
"00001"
"Nombre del Proyecto:"
"Diseño Estructural de Soportes de Concreto para Ductos de
Hidrocarburos"
"Elaboró el Ing.:"
"Patricia A. Tobías Arroyo"
"Fecha:"
"13/0/99"
"Trazo y Nivelación (m2):"
" 15.839"
"Excavación para estructura en zanja con herramienta manual (m3):"
" 16.63"
"Relleno compactado al 95% dela prueba proctor (m3):"
" 12.69"
"Traspaleos volumen medido suelto (m3):"
" 5.116"
"Acarreo en carretilla hasta 50m (m3):"
" 5.116"
"Acarreo en camión a 1er Km. (m3):"
" 5.116"
"Acarreo Km. subsecuente (m3):"
" 5.116"
"Elaboración de Concreto para plantilla cemento normal (m2):"
" 11.4"
"Elaboración de Concreto para estructura cemento normal (m3):"
" 3.998"
"Vaciado de Concreto para plantilla (m3):"
" 11.4"
"Vaciado de Concreto para estructura (m3):"
" 3.998"
"Cimbra y Descimbra en zapatas y cimientos (m2):"
" 13.368"
"Limpieza del sitio (m2):"
" 15.839"
"Habilitado de Acero (Ton.):"
" .501"
"Del Número:"
" 5"
"Habilitado de Acero (Ton.):"
" .12"
"Del Número:"
" 9"
"Sección de la Canal (mm):"
"152.4"
"Peso de la Canal (kg/m):"
"19.34"
"Peso Total de la Canal (Kg):"
" .0647"
"Peso Total del Anclaje de la Canal (Kg)"
" .0251"
"Número de Varilla para el Anclaje:"
"4"
"Separación de la Fijación (cm):"
"15"

"Y la separación (cm):"
" 15"
"Para el Acero por Temperatura de la zapatra se tiene que el Número de la varilla a usar es el siguiente:"
" 5"
"Y la separación (cm):"
" 25"
"Para el Acero a Flexión de la Contratrabe se tiene que el Número de la varilla a usar es el siguiente:"
" 9"
"Y la separación (cm):"
" 10"
"Para el Acero de los Estribos de la contratrabe se tiene que el Número de la varilla a usar es el siguiente:"
" 5"
"Y la separación (cm):"
" 29"
"Para el Acero por Temperatura de la contratrabe se tiene que el Número de la varilla a usar es el siguiente:"
" 5"
"Y la separación (cm):"
" 21"
"Geometría Final del Soporte:"
"Lado Largo de la Zapata (m):"
" 3.4"
"Base de la Zapata (m):"
"2.60"
"Peralte de la Zapata (m):"
"0.30"
"Ancho de la Contratrabe (m):"
"0.30"
"Peralte Total del Soporte (m):"
" 1.62"
"Profundidad de Desplante (m):"
"1.00"
""
"Existe Excentricidad, puede ocurrir volteo, se efectuará una revisión "
" Se aumenta la cuantía para aumenta la resistencia la Cortante"
""
"No se tienen problemas por fuerza cortante"
"Rige la Condición de Dilatación"

" 11.65"
"Esfuerzo 2 debido a la Dilatación (Ton/m2):"
" 2.74"
"Esfuerzo 1 debido al Sismo (Ton/m2):"
" 10.18"
"Esfuerzo 2 debido al Sismo (Ton/m2):"
" .38"
"Esfuerzo Prima 1 (Ton/m2):"
""
"Esfuerzo Prima 2 (Ton/m2):"
""
"Esfuerzo 1 de Diseño (Ton/m2):"
" 11.655"
"Esfuerzo 2 de Diseño (Ton/m2):"
" 2.746"
"Excentricidad actuante (m):"
" .44"
"Excentricidad Permisible (m):"
" .43"
"Momento de diseño para la Zapata (Ton.m):"
" 5.507"
"Cortante de Diseño para la Zapata (Ton):"
" 10.146"
"Cuantía Mínima:"
" .0026"
"Cuantía Máxima:"
" .0142"
"Cuantía 1 para la Zapata:"
" .0807"
"Cuantía 2 para la Zapata:"
" .0002"
"Cuantía de Diseño para la Zapata:"
" .0052"
"Carga total del soporte (incluye peso propio en Ton):"
" 42.437"
"Momento de Diseño para la Contratrabe (Ton.m):"
" 18.77"
"Cortante de Diseño para la Contratrabe (Ton):"
" 11.586"
"Cuantía 1 para la Contratrabe:"
" .0807"
"Cuantía 2 para la Contratrabe:"
" .0002"
"Cuantía de Diseño para la Contratrabe:"
" .0026"
"Fuerza cortante Permisible para la Contratrabe (Ton):"
" 26.835"
"Area de Acero Principal para la Zapata (cm2):"
" 13.228"
"Area de Acero por Temperatura para la Zapata (cm2):"
" 8.625"
"Area de Acero a Flexión para la Contratrabe (cm2):"
" 12.411"
"Area de Acero para los Estribos de la contratrabe (cm2):"
" 22.399"
"Area de Acero de Temperatura para la Contratrabe (cm2):"
" 14.129"
"Para el Acero Principal de la zapata se tiene que el Número de la
varilla a usar es el siguiente:"
" 5"

"Número de Contrato:"
"00001"
"Nombre del Proyecto:"
"Diseño Estructural de Soportes de Concreto para Ductos de
Hidrocarburos"
"Elaboró el Ing.:"
"Patricia A. Tobías Arroyo"
"Fecha:"
"13/0/99"
"Para el diseño de la estructura se utilizó:"
" El Manual de Obras civiles de La Comisión Federal de Electricidad"
"Clave del soporte:"
"SM1"
"Número de Tubos:"
"2"
"Cédula del tubo más grande:"
"40"
"Diámetro del tubo más grande (pulg):"
" 48"
"Zona Sísmica:"
"B"
"Coeficiente Sísmico:"
" .45"
"Concreto para el soporte, f'c (kg/cm2):"
"250"
"fy (kg/cm2):"
"4200"
"Factor de carga Gravitacional:"
"1.5"
"
"Factor de carga Accidental:"
"1.1"
"Factor de reducción por flexión:"
"0.9"
"
"Factor de reducción por fuerza cortante:"
"0.8"
"Tipo de suelo:"
"II"
"Capacidad de Carga del Suelo (Ton/m2):"
"15"
"Peso Volumétrico del Suelo (Ton/m3):"
"1.7"
"Nivel de Terreno Natural (m):"
""
"Nivel Superior de Dado (m):"
"100.62"
"Nivel de Desplante (m):"
" 99"
"Area de contacto de la Cimentación (m2):"
" 8.84"
"Fuerza de Dilatación Última (Ton):"
" 10.53"
"Momento por Dilatación Último (Ton.m):"
" 17.055"
"Fuerza Sísmica Última (Ton):"
" 11.583"
"Momento Sísmico Último (Ton.m):"
" 18.766"
"Esfuerzo 1 debido a la Dilatación (Ton/m2):"

Conclusiones y Recomendaciones

El presente trabajo es la manifestación de la época en la que vivimos, una época llena de avances científicos y tecnológicos e Ingeniería Civil no podía ser la excepción. Cada año que pasa nos enfrentamos a una vida mucho más automatizada, en la cual las máquinas como la computadora ayudan al ser humano a enfrentar y resolver los retos cotidianos.

El presente SE es la conclusión a la inquietud de automatizar ciertos procesos que son iterativos dentro del área de Ingeniería Civil, ahorrando de esta forma recursos humanos y materiales así como tiempo en cuestiones de análisis, diseño, y cuantificación.

La metodología que se uso es metodología de vanguardia, buscando de esta forma que el SE fuera tecnología de punta en su genero, por lo que considero que la herramienta creada con dicha metodología, es una herramienta eficaz y funcional, con sus limitantes por supuesto; como lo es el no sustituir al experto humano; cabe hacer la aclaración que el SE no es capaz de reemplazar a un experto humano, ya que con la tecnología actual no es posible llevara a cabo todavía esta sustitución.

Los SE podría volverse más populares dentro de la carrera de Ingeniería Civil si se aplican adecuadamente y se buscan procesos en los cuales la metodología ayude a simplificar largos programas algorítmicos en donde la decisión de un experto es fundamental.

No sólo el desarrollar un SE ayuda a la realización automatizada de un proceso como es el caso de SEDIS, sino al documentar el proceso del SE se consigue un doble objetivo. Primero se establece la metodología de análisis, diseño, cuantificación y dibujo que en algunos casos no se tiene bien definida, ya que como es bien sabido cada Ingeniero diseña según su criterio personal y esto muchas veces complica el establecer los pasos ha seguir para efectuar un diseño de una estructura determinada, más si la estructura no es común y si se tienen restricciones específicas; por lo que establecer una metodología es beneficioso para desarrollar cualquier diseño, documentarlo y más para el desarrollo de un programa, pues todos los pasos a seguir estarían bien determinados y acotados según lo que se busque. Y segundo se estandarizan criterios, los cuales

sirven de guía para los ingenieros que quieran incursionar en el aprendizaje de cierta metodología de diseño o mejorarla.

Se ha explicado que las diferentes partes del SE se tienen que comunicar entre ellas con archivos de liga, porque el SE está conformado con diferentes programas, como se explicó en el capítulo de la presente tesis, pero cabe aclarar que la arquitectura que se propuso no es la más adecuada, conceptualmente se puede mejorar, haciendo que el núcleo del SE y el módulo principal no tengan que comunicarse con estos archivos, buscando así un SE más integral en cuanto a su comunicación interna, lo mismo se aplicaría para integrar el módulo de la documentación final; pero con las herramientas que se tiene disponibles en la actualidad, este modelo no puede ser desarrollado ya que no se cuenta hasta ahora con un Shell o algún programa integral que pueda hacer esto. Por lo tanto la arquitectura mostrada es adecuada de acuerdo a las limitaciones tecnológicas de esta época. Probablemente con los avances tecnológicos en un futuro no muy lejano se puedan crear más SE que a su vez se integren en un todo.

El incursionar en una tarea como la de diseñar un SE no fue nada fácil, una vez identificada la necesidad de elaborarlo, me tope con muchas dificultades a lo largo del desarrollo de la presente tesis, me di cuenta que la capacitación computacional es importante para el Ingeniero Civil. Además de dominar el área de diseño que implica un sinnúmero de conocimientos tanto de física, matemáticas y otras disciplinas, se tiene que incursionar en el mundo de las computadoras, porque elaborar un SE requiere de un grupo especial que incluya no sólo al ingeniero civil sino también a un experto en la rama de la computación. La única persona que conoce ¿cómo se diseña?, es el Ingeniero Civil y tiene que comunicar al experto computacional lo que quiere que haga el SE, por lo tanto tiene que saber como expresarse y conocer el lenguaje de un programador, pero eso no es todo, también tiene que conocer el lenguaje de programación a utilizar ya que el Ingeniero Civil forma parte activa en la elaboración del SE (elaborar el diagrama de flujo, hacer el algoritmo, traducirlo a algún lenguaje, acotar que decisiones heurísticas, organizar la interfaz, etc.).

Tal vez se tenga la creencia de que estas nuevas tecnologías amenazan a la humanidad por el temor a ser desplazados por máquinas que piensen y ejecuten el trabajo mejor que nosotros. Pero esto está muy lejos, ¿podrán ejecutar el trabajo mejor que nosotros?. La verdad no lo creo.

Las máquinas son programadas por los humanos y no somos perfectos por lo tanto las máquinas (concretamente las computadoras) no son perfectas, pueden cometer errores si la programación es errónea por lo tanto no son infalibles al igual que nosotros; se puede caer el sistema, se puede dañar el programa o algún archivo o enfermar de algún virus cibernético. Ayudan claro esta y comprobado, ha hacer menos tedioso y laborioso el trabajo, así como aumentar la productividad, cosa que en nuestros días de capitalismo es esencial. Las computadoras y los programas desarrollados para ejecutar cierta tarea son ventajosos si se piensa desde el enfoque práctico; se tendría más tiempo para realizar otras actividades que no son iterativas y necesitan más del pensamiento humano como por ejemplo crear nuevas técnicas o proponer nuevas hipótesis (en el caso de la ciencia y tecnología); aumentando así el acervo científico para poder demostrar y utilizar nuevas técnicas de la ciencia en beneficio de la humanidad.

Anexo 1

φ nominal in	φ nominal m.	Cédula	Espesor m.	Peso Kg./m.	Peso agua Kg./m	Peso total Kg./m.
4	0.102	40	0.0060	16.07	6.30	22
		80	0.0086	22.31	5.61	28
5	0.127	40	0.0066	21.78	10.19	32
		80	0.0095	30.95	9.15	40
6	0.152	40	0.00711	28.26	15.00	43
		80	0.0110	28.26	13.37	42
8	0.203	20	0.0064	33.31	28.50	62
		40	0.0082	42.53	27.42	70
		60	0.0103	53.09	26.18	79
		80	0.0127	64.63	24.83	89
10	0.254	20	0.0064	29.85	45.73	76
		40	0.0093	41.77	43.54	85
		60	0.0127	28.26	41.04	69
		80	0.0151	28.26	39.36	68
12	0.305	20	0.0064	49.72	67.01	117
		40	0.0127	79.73	61.31	141
		XS	0.0103	97.44	63.43	161
		60	0.0143	108.97	59.94	169
		80	0.0174	131.84	57.21	189
14	0.356	10	0.0064	54.68	92.35	147
		20	0.0079	68.04	90.66	159
		40	0.0111	94.39	87.30	182
		XS	0.0127	107.38	85.63	193
		60	0.0151	126.47	83.20	210
		80	0.0191	158.08	79.17	237
16	0.406	10	0.0064	62.63	121.74	184
		20	0.0079	77.99	119.80	198
		40	0.0127	123.29	114.01	237
		60	0.0167	160.12	109.32	269
		80	0.0214	203.26	103.82	307

φ nominal in	φ nominal m.	Cédula	Espesor m.	Peso Kg./m.	Peso agua Kg./m.	Peso total Kg./m.
18	0.457	10	0.0064	70.59	155.18	226
		20	0.0079	87.93	152.99	241
		XS	0.0127	139.19	146.44	286
		40	0.0143	156.03	144.31	300
		60	0.0191	205.80	137.95	344
		80	0.0238	254.33	131.77	386
20	0.508	10	0.0064	78.54	192.68	271
		20	0.0095	117.07	187.77	305
		XS	0.0127	155.10	182.92	338
		40	0.0151	183.07	179.36	362
		60	0.0206	247.85	171.10	419
		80	0.0262	311.11	163.04	474
22	0.559	10	0.0064	86.39	234.23	321
		20	0.0095	129.59	228.81	358
		XS	0.0127	171.29	223.46	395
		60	0.0222	293.43	207.78	501
		80	0.0286	373.86	197.65	572
24	0.6096	10	0.0064	94.45	279.83	374
		20	0.0095	140.94	273.91	415
		XS	0.0127	186.92	268.05	455
		40	0.0174	254.96	259.40	514
		60	0.0246	429.14	246.68	676
		80	0.0309	441.43	235.62	677
26	0.660	20	0.0127	202.57	316.69	519
28	0.711	20	0.0127	218.96	369.39	588
30	0.762	20	0.0127	235.34	426.14	661
		40	0.0191	348.54	411.57	760
32	0.813	20	0.0127	250.24	486.95	737
		40	0.0175	342.59	475.21	818

ϕ nominal in	ϕ nominal m.	Cédula	Espesor m.	Peso Kg./m.	Peso Kg./m agua	Peso total Kg./m.
34	0.864	20	0.0127	266.62	551.80	818
		40	0.0191	364.93	535.21	900
36	0.914	20	0.0127	283.01	620.72	904
		40	0.0191	420.04	603.11	1023
42	1.067	20	0.0127	330.67	851.78	1182
		40	0.0191	491.54	831.13	1323
48	1.219	20	0.0127	381.52	1119.32	1501
		40	0.0191	571.52	1095.63	1667

Glosario.

Algoritmo.- (Algorithmus). Cualquier esquema o proceso de cálculo con números y letras.

Armado.- Barras de hierro colocadas en las estructuras de concreto, para resistir los esfuerzos de tracción en las zonas sometidas a tensión, también se colocan en las zonas sometidas a compresión donde en colaboración con los estribos, aseguran la estabilidad en las secciones de concreto, que de otro modo por efecto de la compresión, tenderían a ensancharse y agrietarse. Este armado se dispone previo cálculo de la sección total de acero necesaria expresada en cm^2 . Esta sección total se reparte entre barras redondas de conveniente sección, dobladas de manera que el material trabaje a tracción y que en determinados puntos característicos de las vigas, se oponga a los esfuerzos cortantes.

Automático.- Aparato o mecanismo que cumple una determinada operación sin la intervención del hombre.

Bit.- Unidad de información que se emplea para medir la capacidad de memoria de una computadora

Bitácora.- Documento en el cuál se registran datos o pasos que se hicieron.

Capacidad.- *Capacidad de elaboración de datos:* En un sistema de elaboración, viene dada por el número de Bits de información que pueden almacenar simultáneamente y de la rapidez con que tales bits pueden ser entregados, manualmente o automáticamente en la entrada. *Capacidad de memoria:* Cantidad de información que pueden ser contenidas en la memoria de un calculador, expresada generalmente como número de palabras que pueden ser contenidas. Para poder confrontar diferentes memorias, este número se expresa en bits.

Cartel.- Plano que une dos superficies planas que forman un ángulo. Cara de un sólido que resulta al cortar por un plano diagonal una esquina del mismo. Sinónimo Chaflan.

Compilación.- Reunir en un sólo cuerpo de obra extractos de diferentes libros o documentos.

Computadora Pentium.- Ordenador con un procesador de datos tipo Pentium. Actualmente las Computadoras personales tienen este tipo de procesador.

Conceptual.- Idea abstracta y general. Pensamiento expresado con palabras

Conocimiento.- Entendimiento e inteligencia.

Criterios.- Principio o norma de discernimiento o decisión.

Chaflán.- Cara que se obtiene cortando la arista de un cuerpo sólido

Esfuerzo.- Empleo energético de la fuerza física contra algún impulso o resistencia

Esquemas.- Conjunto de signos gráficos, de significado convencional, que facilitan la comprensión satisfactoria de la construcción y el funcionamiento de un trabajo, maquina, plano, etc.

Estandarizaciones.- Ajustar a un tipo, modelo o norma común.

Estilógrafos.- Pluma cuyo mango contiene un depósito de tinta.

Excedente.- Sobrante.

Expertos.- Muy hábil en cierta actividad o materia.

Extraordinarios.- Fuera de lo común

Genérico.- Común a todos los elementos de un conjunto.

Habilidad.- inteligente y dispuesto para cualquier actividad.

Heurística.- Disciplina que trata de establecer las reglas de la investigación.

Hidrocarburo.- Compuestos orgánicos constituidos solamente por carbono e hidrógeno. De acuerdo con los tipos de enlace establecidos entre los átomos de carbono que constituyen el esqueleto de su molécula, se dividen en hidrocarburos saturados, no saturados y aromáticos.

Inestabilidad.- Falta de estabilidad

Inferencia.- Procedimiento mediante el cuál, basándose en ciertas hipótesis, se puede generaliza el resultado de un estudio o análisis estadístico, basado en un número limitado de casos, a la totalidad de ellos. Es esencial para este procedimiento la plausibilidad de las hipótesis aceptadas inicialmente.

Infraestructura.- Conjunto de trabajos de cimentación de edificios, carreteras y vías férreas

Interacción.- Fenómeno de mutua influencia reciproca entre de dos cuerpos.

Interfaz.- La parte del programa de computación que esta entre el usuario y la computadora.

Jerga.- Lenguaje particular que usan los individuos de una profesión o clase.

Lenguaje natural.- Facultad del hombre que le permite comunicarse con sus semejantes empleando cierta diversidad de medios: la palabra, hablada o escrita, los gestos, los símbolos y los sonidos

- LISP.-** Abreviatura de Procesamiento de Listas. Lenguaje inventado por McCarthy en 1960 para cómputos no numéricos. El desarrollo de LISP es considerado el mayor avance en la IA, este lenguaje es usado extensamente a lo largo de las investigaciones de la IA en Estados Unidos.
- Modelado.-** Acción y efecto de modelar.
- Módulo.-** Elemento compatible con otro por su misma naturaleza y función.
- Nominalmente.-** Relativo a un nombre.
- Mouse.-** Hardware de las computadoras, sirven para mover el cursor a lo largo y ancho de la pantalla.
- Paradigma.-** Ejemplo que sirve de norma. Conjunto de formas que siguen de modelo en los diferentes tipos de flexión.
- Pericia.-** Habilidad, cualidad del que es experto en una cosa.
- Potencialidad.-** Calidad de la potencia.
- Primitivas del conocimiento.-** Es todo concepto cuya definición es intuitiva y no puede derivarse de conceptos más simples.
- Procedimiento.-** Acción de proceder. Método para hacer algo.
- Procedural.-** Se le llama así a la programación tradicional; termino empleado para programación algorítmica.
- PROLOG.-** Abreviación de Programación Lógica, programación basada en la lógica formal.
- Raciocinio.-** Capacidad de pensar.
- Reglamentación.-** Acción y efecto de reglamentar. Conjunto de reglas.
- Relatoria.-** Que relata alguna cosa.
- Robótica.-** Es una rama de la inteligencia artificial concerniente principalmente con el desarrollo de programas de computación para controlar robots en un ambiente dinámico.
- Robot.-** Aparato que lleva incorporado un mecanismo que le confiere ciertos movimientos, máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado, autómeta.
- Rubros.-** Conjunto de artículos de consumo de un mismo tipo o relacionados con una misma actividad.
- Shell.-** Es un Sistema Experto sin una base de conocimiento, contiene únicamente el mecanismo de inferencia y la memoria y tal vez ayude a desarrollar otros SE.
- Simbólica.-** Relativo al símbolo, que representa algo abstracto, como imagen de esa cosa.
- Sintaxis.-** Parte de la gramática que estudia la estructura de la oración

Software.- Programa de computo.

Soporte.- Apoyo, sostén.

Sucinto.- Breve, resumido.

REFERENCIAS:

Inteligencia artificial: Sistemas expertos.

José Cuenca, Gregorio Fernández y María Felisa Verdejo.

Alianza editorial 1986.

pp.9-22

Expert Systems in Construction and Structural Engineering

Adeli Hojjat

Chapman and Hall 1988

pp.1-11

Sistemas Expertos Métodos y Herramientas

Jean-Noël Chatain y Alain Dussauchoy.

Paraninfo Madrid 1988.

Principios de ingeniería artificial y sistemas expertos.

David W. Rolston

McGraw Hill Latinoamericana 1990.

Sistemas expertos aplicados a la Ingeniería

J. Manuel Cervantes y J. Sánchez Lira.

Instituto Mexicano del Petróleo 1997.

Cursos de Introducción a Sistemas Expertos

Olivia Niño Leal.

Subdirección de Ingeniería, Gerencia de Tecnologías Costafuera,

División Informática.

Instituto Mexicano del Petróleo 1998

Optimizing Application for the pentium procesor

Intel corporation. Junio 1996

Reglamento de construcciones para el Distrito Federal,

Edición actualizada hasta el mes de marzo de 1995

Editorial Sista

pp.57-76

Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto

Secretaria de Obras y Servicios

Publicadas por la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal el 25 de marzo de 1994.

Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de cimentaciones.

Secretaria de Obras y Servicios.

Publicadas por la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal el 25 de marzo de 1996.

Diseño por sismo.

Manual de diseño de obras civiles

Sección C. Estructuras

Tema 1. Criterios de Diseño

Capitulo 3

Comisión Federal de Electricidad 1993.

Acciones

Manual de diseño de obras civiles

Sección C. Estructuras

Tema 1. Criterios de Diseño

Capitulo 2

Comisión Federal de Electricidad 1981.

Soportes elevados de concreto para tuberías.

Normas para construcción de obras, Norma N° 3.135.12

Petróleos Mexicanos 1991.

Cimentaciones de estructura

Clarence W. Dunham

Mc Graw Hill Segunda edición 1979.

pp.259-261

Manual Ahmsa para construcción en acero.

Altos Hornos de México S.A. de C.V. 1996.

Relación de conceptos y cantidades de obra para expresión de precios unitarios y monto total de la proposición Anexo C.

Pemex explotación y producción