



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**MODELACIÓN ANALÍTICA DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES
UTILIZANDO PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y DIBUJO
QUE INTERACTÚAN. (SAP2000® V8, ETABS® V8, AUTOCAD® 2000)**

CARLOS ENRIQUE MONCADA DÍAZ

Asesorado por Dr. Héctor Monzón Despang

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MODELACIÓN ANALÍTICA DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES
UTILIZANDO PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y DIBUJO
QUE INTERACTÚAN. (SAP2000® V8, ETABS® V8, AUTOCAD®2000)**

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ENRIQUE MONCADA DÍAZ

ASESORADO POR Dr. HÉCTOR MONZÓN DESPANG

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

Decano	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Vocal I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Vocal II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
Vocal III	Ing. Julio David Galicia Celada
Vocal IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Vocal V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
Secretario	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Examinador	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Examinador	Ing. Giovanni Rudamán Miranda Castañon
Examinador	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
Secretario	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MODELACIÓN ANALÍTICA DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES UTILIZANDO PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y DIBUJO QUE INTERACTÚAN. (SAP2000®V8, ETABS®V8, AUTOCAD®2000)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 15 de octubre de 2003.

Carlos Enrique Moncada Díaz

Guatemala 20 de septiembre de 2004

Ing. Francisco Ruíz Cruz
Jefe del Depto. de Estructuras
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Ruíz:

Por este medio me complace aprobar el trabajo de graduación titulado "**Modelación Analítica de Estructuras no convencionales Utilizando Programas de Computación de Estructuras y Dibujo que Interactúan. (SAP2000® V8, ETABS® V8, AUTOCAD®2000)**" que **Carlos Enrique Moncada Díaz**, estudiante de ingeniería civil, quien se identifica con carné número **1997-13465** ha finalizado bajo mi asesoría.

Es un trabajo acucioso y muy detallado. Va a ser útil en la facultad.

Felicito a Carlos Moncada Díaz por su trabajo.

Atentamente,



Héctor Monzón Despang
Ingeniero Civil col. 932

Héctor Monzón Despang
INGENIERO CIVIL COLEGIADO No. 932



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS

GUATEMALA 24 DE SEPTIEMBRE 2004

INGENIERO
CARLOS SALVADOR GORDILLO
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ING. GORDILLO:

LE INFORMO QUE HE REVISADO EL TRABAJO DE GRADUACIÓN **MODELACIÓN ANALÍTICA DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES UTILIZANDO PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y DIBUJO QUE INTERACTÚAN. (SAP2000®V8, ETABS®V8, AUTOCAD®2000)**, DESARROLLADO POR EL ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL, **CARLOS ENRIQUE MONCADA DÍAZ**, CARNET 97-13465, QUIEN CONTÓ CON LA ASESORÍA DEL DR. HÉCTOR MONZÓN DESPANG.

CONSIDERO ESTE TRABAJO BIEN DESARROLLADO; REPRESENTA UN APOORTE IMPORTANTE PARA LOS PROFESIONALES DEDICADOS AL DISEÑO ESTRUCTURAL, Y ME PERMITO FELICITAR AL ESTUDIANTE POR EL TRABAJO DESARROLLADO.

HABIENDO CUMPLIDO CON LOS OBJETIVOS DEL REFERIDO TRABAJO, DOY MI APROBACIÓN AL MISMO, SOLICITANDO DARLE EL TRÁMITE RESPECTIVO.

ATENTAMENTE,


ING. FRANCISCO RUIZ CRÚZ
REVISOR



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Dr. Héctor Monzón Despang y del Revisor por el Departamento de Estructuras, Ing. Francisco Ruiz Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Enrique Moncada Díaz, titulado **MODELACIÓN ANALÍTICA DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES UTILIZANDO PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y DIBUJO QUE INTERACTÚAN.** (SAP2000®V8, ETABS®V8, AUTOCAD®2000), da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Salvador Gordillo García'.

Ing. Carlos Salvador Gordillo García



Guatemala, octubre de 2004.


/bbdeb.

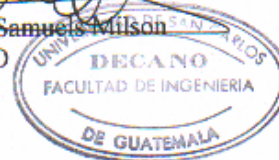
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Decanato
Tels: 4769579 - 4760029 - 4423505 Exts 101 - 102 - 114
4439500 Ext. 1519
Fax 4764366

Ref. DTG.375-2004

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **MODELACIÓN ANALÍTICA DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES UTILIZANDO PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS Y DIBUJO QUE INTERACTÚAN.** (SAP2000®V8, ETABS®V8, AUTOCAD® 2000), presentado por el estudiante universitario **Carlos Enrique Moncada Diaz**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Sydney Alexander Samuel Wilson
DECANO



Guatemala, octubre de 2,004

/cdes

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Héctor Monzón Despang por haber permitido la realización de mis prácticas laborales en su empresa, por el asesoramiento del presente trabajo de graduación, por sus consejos y por todo el apoyo que me ha brindado, muy agradecido.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS	Luz divina que iluminó mi mente
A mis Padres	José Víctor Moncada Ramos y Gloria Marina Díaz de Moncada en reconocimiento a sus sacrificios, apoyo incondicional y amor que me han brindado toda mi vida
A mis hermanos	Víctor, Mario, Rosa Marina, Linda, Juan José y Diana Christal, por apoyarme siempre
A mis abuelos	Con cariño y respeto en especial a Rosa Ramos Vda. De Moncada Eterno descanso en la mansión celestial
A toda mi familia	A mis primos y tíos en especial Ana Isabel Moncada, René Moncada y Roberto Moncada
A mis Amigos	En especial Ana Gabriela Marroquín, Jessica de Rosales, Abner Aguilar, Sergio Argueta, José Morales, Yefry Rosales, por el apoyo que me han brindado, por su lealtad, por los gratos momentos que hemos compartido
A mis compañeros universitarios	Por los años compartidos en esta gran casa de estudios.
A mis amigos de Sismoconsult	Antonio Jiménez, Edy Orozco, Rolando Escobar, Erick Cayax, por su amistad y apoyo en mis prácticas laborales y trabajo de graduación
A mis amigos de Qualicons	Por su apoyo y amistad

TESIS QUE DEDICO

- A Dios
- A Mi patria Guatemala
- A La Universidad de San Carlos de Guatemala
- A La Facultad de Ingeniería
- A Mis catedráticos
- A Mi familia
- A Mis amigos
- A Mi asesor ing. Héctor Monzón Despang
- A Todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido con mi formación profesional

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVI
RESUMEN	XVIII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XX
1. MODELOS COMO BASE DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	
1.1 Qué es un modelo	1
1.2 Tipos de modelos	2
1.2.1 Modelo físico	2
1.2.2 Modelo prueba y error	3
1.2.3 Modelo analítico	3
1.2.4 Modelo geométrico	3
1.2.5 Modelo analítico - geométrico	4
2. MODELOS ANALÍTICOS - GEOMÉTRICOS	
2.1 Modelos reticulares simples	5
2.2 Modelos reticulares avanzados	6
2.3 Modelos de estructuras no convencionales	7
2.4 Cómo hacer un modelo analítico – geométrico de una estructura no convencional	8

3.	PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES Y DIBUJO QUE INTERACTÚAN	
3.1	Descripción del programa SAP2000® versión 8	13
3.1.1	Descripción de los componentes del interface gráfico del programa SAP2000® versión 8	15
3.1.1.1	Barra de título principal	15
3.1.1.2	Barra de menú	15
3.1.1.3	Herramientas	16
3.1.1.4	Barras de título ventana activa e inactiva	16
3.1.1.5	Separador de ventanas	16
3.1.1.6	Sistema de coordenadas	16
3.1.1.7	Coordenadas de ubicación	17
3.1.1.8	Unidades	17
3.1.1.9	Barra de estado	17
3.1.2	Guía para la modelación de una estructura no convencional utilizando el programa SAP2000® versión 8	17
3.1.2.1	Interacción autoCAD® 2000 con SAP2000® V8	17
3.1.2.2	Ingresar al programa SAP2000® V8	18
3.1.2.3	Crear un modelo nuevo	18
3.1.2.4	Sistema de coordenadas	18
3.1.2.5	Unidades de trabajo	18
3.1.2.6	Importación del archivo DXF	18
3.1.2.7	Dibujar la geometría de la estructura	19
3.1.2.7.1	Frames	19
3.1.2.7.2	Área	19
3.1.2.8	Definir	19
3.1.2.8.1	Materiales	19
3.1.2.8.2	Secciones	20
3.1.2.8.3	Cargas	20

3.1.2.8.4	Espectro de diseño sísmico (<i>response – spectrum functions</i>)	20
3.1.2.8.5	Casos de análisis	20
3.1.2.8.6	Sismo (<i>response spectrum cases</i>)	21
3.1.2.8.7	Combinaciones de carga	22
3.1.2.8.8	Definición de masas	23
3.1.2.9	Asignar	23
3.1.2.10	Selección del método de análisis	23
3.1.2.11	Correr el programa	24
3.1.2.12	Revisión de resultados	24
3.1.2.12.1	Modos y períodos de vibración	24
3.1.2.12.2	Deformaciones	25
3.1.2.12.3	Diagramas de esfuerzos	25
3.1.2.13	Diseño	26
3.1.2.14	Verificar diseño	27
3.2	Descripción del programa ETABS® versión 8	29
3.2.1	Descripción de los componentes del interface gráfico del programa ETABS® versión 8	31
3.2.1.1	Barra de título principal	31
3.2.1.2	Barra de menú	32
3.2.1.3	Herramientas	32
3.2.1.4	Ventana activa e inactiva	32
3.2.1.5	Separador de ventanas	33
3.2.1.6	Barra de estado	33
3.2.1.7	Coordenadas de posición.....	33
3.2.1.8	Dibujar en vistas plantas y niveles similares	33
3.2.1.9	Sistema de coordenadas	33
3.2.1.10	Unidades	33

3.2.2	Guía para la modelación de una estructura no convencional utilizando el programa ETABS® versión 8	34
3.2.2.1	Ingresar al programa ETABS® V8	34
3.2.2.2	Crear un modelo nuevo	34
3.2.2.3	Establecer ejes X,Y,Z	34
3.2.2.4	Unidades de trabajo	34
3.2.2.5	Sistema de coordenadas	34
3.2.2.6	Editar ejes (<i>edit > edit story data</i>)	35
3.2.2.7	Dibujar la geometría de la estructura	35
3.2.2.8	Definir	35
3.2.2.8.1	Propiedades de los materiales	35
3.2.2.8.2	Secciones de los elementos estructurales	36
3.2.2.8.3	Espectro de diseño sísmico (<i>response – spectrum functions</i>)	37
3.2.2.8.4	Tipos de carga	37
3.2.2.8.5	Sismo (<i>response spectrum cases</i>)	38
3.2.2.8.6	Combinaciones de carga	39
3.2.2.8.7	Definición de masas	39
3.2.2.9	Asignar	40
3.2.2.9.1	Secciones	40
3.2.2.9.2	Cargas	40
3.2.2.9.3	Tipos de apoyo	41
3.2.2.10	Selección del método de análisis	41
3.2.2.11	Correr el programa	41
3.2.2.12	Revisión de resultados	41
3.2.2.12.1	Modos y períodos de vibración	41
3.2.2.12.2	Deformaciones	42
3.2.2.12.3	Diagramas de esfuerzos	42

3.2.2.13	Diseño de elementos estructurales	43
3.2.2.13.1	Diseño en acero	43
3.2.2.13.2	Diseño en concreto	43
3.2.2.13.3	Diseño de muros de corte	44
3.2.2.14	Verificar diseño	44
3.2.2.15	Interacción ETABS® V8 con autoCAD® 2000	45
3.3	Descripción del programa autoCAD® 2000	45
3.4	Aplicaciones en la ingeniería civil	47
3.5	Interacción entre programas de estructuras no convencionales y de dibujo	48
3.5.1	Interacción entre autoCAD® 2000 y SAP2000® versión 8	49
3.5.2	Interacción entre ETABS® versión 8 y autoCAD® 2000	52

4.	PARÁMETROS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES	
4.1	Materiales	55
4.1.1	Acero	55
4.1.2	Concreto	56
4.1.3	Otros	56
4.2	Tipos de cargas	57
4.2.1	Cargas verticales	57
4.2.1.1	Carga viva	57
4.2.1.2	Carga muerta	58
4.2.2	Cargas laterales	59
4.2.2.1	Carga de sismo	59
4.2.2.1.1	Diseño sismo - resistente	59
4.2.2.2	Carga de viento	63
4.2.3	Sobrecarga	64

4.3	Combinaciones de carga	65
4.3.1	Combinaciones de carga para un domo	65
4.3.1.1	Para un domo opción acero	65
4.3.1.2	Para un domo opción concreto	66
4.3.2	Combinaciones de carga para un silo	66
4.3.2.1	Para un silo opción acero	66
4.3.2.2	Para un silo opción concreto	67
5.	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL	
5.1	Predimensionamiento	69
5.1.1	Dimensiones de un domo	69
5.1.2	Dimensiones de un silo	69
5.2	Análisis y diseño de elementos de acero	71
5.2.1	Diseño de un domo	71
5.2.2	Diseño de un silo	71
5.3	Análisis y diseño de elementos de concreto	72
5.3.1	Diseño de un domo	72
5.3.2	Diseño de un silo	72
6.	APLICACIÓN DE LOS PROGRAMAS ETABS® VERSIÓN 8, SAP2000® VERSIÓN 8 Y AUTOCAD® 2000 EN EL DISEÑO DE UN DOMO Y UN SILO	
6.1	Descripción de los modelos	73
6.1.1	Modelos del domo	73
6.1.1.1	Modelo del domo opción acero	73
6.1.1.2	Modelo del domo opción concreto	76
6.1.2	Modelos del silo	79
6.1.2.1	Modelo del silo opción acero	79
6.1.2.2	Modelo del silo opción concreto	82

6.2	Análisis de resultados	84
6.2.1	Resultados del domo	84
6.2.1.1	Resultados del domo opción acero	84
6.2.1.2	Resultados del domo opción concreto	86
6.2.2	Resultados del silo	87
6.2.2.1	Resultados del silo opción acero	87
6.2.2.2	Resultados del silo opción concreto	88
6.3	Diseño de las estructuras no convencionales	90
6.3.1	Diseño del domo	90
6.3.1.1	Diseño de elementos críticos domo opción acero	90
6.3.1.2	Diseño de elementos críticos domo opción concreto	91
6.3.2	Diseño del silo	92
6.3.2.1	Diseño de elementos críticos silo opción acero	92
6.3.2.2	Diseño de elementos críticos silo opción concreto	93
	CONCLUSIONES	95
	RECOMENDACIONES	97
	REFERENCIAS	98
	BIBLIOGRAFÍA	99
	APÉNDICE 1 RESULTADOS DOMO OPCIÓN ACERO	101
	APÉNDICE 2 RESULTADOS DOMO OPCIÓN CONCRETO	107
	APÉNDICE 3 RESULTADOS SILO OPCIÓN ACERO	115
	APÉNDICE 4 RESULTADOS SILO OPCIÓN CONCRETO	123

PLANOS DOMO OPCIÓN ACERO	129
PLANOS DOMO OPCIÓN CONCRETO	135
PLANOS SILO OPCIÓN ACERO	142
PLANOS SILO OPCIÓN CONCRETO.....	147

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Modelo reticular simple programa ETABS® versión 8	5
2.	Modelo reticular avanzado edificio AG programa SAP2000® V8	6
3.	Modelo analítico-geométrico domo opción acero programa SAP2000® versión 8	7
4.	Modelo analítico-geométrico silo opción concreto programa SAP2000® versión 8	8
5.	Guía para modelar una estructura no convencional utilizando programas de computación de estructuras y dibujo que interactúan	9
6.	Modelación de una estructura no convencional por medio del programa SAP2000® versión 8	10
7.	Modelación de una estructura no convencional por medio del programa ETABS® versión 8	11
8.	Presentación del programa SAP2000® versión 8	13
9.	Interface gráfico programa SAP2000® versión 8	15
10.	Cuadro de definición de sismo (response spectrum case) Programa SAP2000® versión 8	21
11.	Cuadro de definición de combinaciones de carga Programa SAP2000® versión 8	22
12.	Diagramas de corte y momento programa SAP2000® versión 8	26
13.	Cuadro de verificación de diseño de elementos de acero programa SAP2000® versión 8	27
14.	Cuadro de verificación de diseño de elementos de concreto programa SAP2000® versión 8	28

15. Presentación del programa ETABS® versión 8	29
16. Interface gráfico del programa ETABS® versión 8	31
17. Cuadro de definición de propiedades del concreto programa ETABS® versión 8	36
18. Cuadro de definición del espectro sísmico de diseño programa ETABS® versión 8	37
19. Cuadro de definición de tipos de cargas Programa ETABS® V8	38
20. Cuadro de definición de sismo (<i>response spectrum cases</i>) programa ETABS® versión 8	39
21. Cuadro de definición de masas programa ETABS® versión 8	40
22. Presentación del programa autoCAD® 2000	45
23. Dibujar sección del domo programa autoCAD® 2000 en formato DXF (paso 1)	50
24. Importar la sección elaborada en autoCAD® 2000 al programa SAP2000® versión 8 (paso 2)	51
25. Copiar la sección importada cada 11.25 grados (paso 3)	51
26. Generación del modelo analítico-geométrico del domo opción acero en el programa SAP2000® versión 8 en base a la interacción mostrada en las figuras 23, 24 y 25 (paso 4)	51
27. Planta a exportar del programa ETABS® versión 8 al programa autoCAD® 2000	53
28. Planta importada en programa autoCAD® 2000	53
29. Modificación del archivo importado para generar el plano final	53
30. Mapa de macrozonificación sísmica de Guatemala	60
31. Espectro sísmico de diseño	62
32. Vista 3D modelo domo opción acero programa SAP2000® V8	75
33. Vista 3D modelo domo opción concreto programa SAP2000® V8	78
34. Vista 3D modelo silo acero programa ETABS® V8	81
35. Vista 3D modelo silo concreto programa ETABS® V8	83

36.	Plano S0-DA	130
37.	Plano S1-DA	131
38.	Plano S2-DA	132
39.	Plano S3-DA	133
40.	Plano S4-DA	134
41.	Plano S0-DC	136
42.	Plano S1-DC	137
43.	Plano S2-DC	138
44.	Plano S3-DC	139
45.	Plano S4-DC	140
46.	Plano S5-DC	141
47.	Plano S0-SA	143
48.	Plano S1-SA	144
49.	Plano S2-SA	145
50.	Plano S3-SA	146
51.	Plano S0-SC	148
52.	Plano S1-SC	149
53.	Plano S2-SC	150
54.	Plano S3-SC	151
55.	Plano S4-SC	152

TABLAS

I.	Patrón de modos y períodos de vibración	24
II.	Valores de propiedades mecánicas de los aceros estructurales	55
III.	Valores de propiedades mecánicas de los concretos estructurales	56
IV.	Valores de carga viva recomendados por Dr. Héctor Monzón para el diseño de estructuras no convencionales	57
V.	Valores de carga muerta recomendados Dr. Héctor Monzón para el diseño de estructuras no convencionales	58
VI.	Valores de A_o según zona sísmica	61
VII.	Valores de R_o para diseño de estructuras no convencionales	61
VIII.	Valores de carga de viento para el diseño de estructuras no convencionales	63
IX.	Valores de sobrecarga para el diseño de estructuras no convencionales	64
X.	Integración de cargas de diseño domo opción acero	74
XI.	Integración de cargas de diseño domo opción concreto	77
XII.	Integración de cargas de diseño silo opción acero	80
XIII.	Integración de cargas de diseño silo opción concreto	82
XIV.	Períodos de vibración domo opción acero	85
XV.	Deformaciones horizontales globales máximas domo opción acero	85
XVI.	Períodos de vibración domo opción concreto	86
XVII.	Deformaciones horizontales globales máximas domo opción concreto	86
XVIII.	Períodos de vibración silo opción acero	87
XIX.	Deformaciones horizontales globales máximas silo opción acero	88
XX.	Períodos de vibración silo opción concreto	89
XXI.	Deformaciones horizontales globales máximas silo opción concreto	89

XXII.	Resultados de diseño de elementos de acero de la cubierta del domo opción acero	101
XXIII.	Datos para el diseño de columna crítica domo opción acero	104
XXIV.	Datos para diseño de pilote crítico (L= 5 m) domo opción acero	105
XXV.	Datos para diseño de pilote crítico (L= 12 m) domo opción acero	105
XXVI.	Datos para diseño de viga de cimentación crítica domo opción acero	106
XXVII.	Datos para diseño de columna crítica domo opción concreto	107
XXVIII.	Datos para diseño de pilote crítico (L = 5 m) domo opción concreto	107
XXIX.	Datos para diseño de pilote crítico (L = 12 m) domo opción concreto ..	108
XXX.	Datos para diseño de viga de cimentación crítica domo opción concreto	108
XXXI.	Datos para diseño de viga crítica (0.30 X 0.50 m) domo opción concreto	109
XXXII.	Datos para diseño de viga crítica (0.30 X 0.40 m) domo opción concreto	110
XXXIII.	Datos para diseño de losas 2 sentidos de la cubierta del domo opción concreto	113
XXXIV.	Datos para diseño de losas 1 sentidos de la cubierta del domo opción concreto	114
XXXV.	Datos para diseño muro estructural domo opción concreto	114
XXXVI.	Datos para diseño de columna crítica silo opción acero	115
XXXVII.	Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 1.20 m) silo opción acero	116
XXXVIII.	Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 0.90 m) silo opción acero	118
XXXIX.	Reacciones para diseño de cimentación silo opción acero	119
XL.	Datos para diseño de solera de amarre silo opción acero	120
XLI.	Datos para diseño de muro silo opción acero	121
XLII.	Datos para diseño de losa silo opción acero	122
XLIII.	Datos para diseño de columna crítica silo opción concreto	123

XLIV.	Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 1.20 m)	
	silo opción concreto	124
XLV.	Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 1.50 m)	
	silo opción concreto	125
XLVI.	Reacciones para diseño de cimentación silo opción concreto	125
XLVII.	Datos de diseño de solera de amarre silo opción concreto	126
XLVIII.	Datos de diseño de muro estructural (t = 0.50 m)	
	silo opción concreto	126
XLIX.	Datos de diseño de pared (muro t = 0.25 m)	
	silo opción concreto	127
L.	Datos de diseño de pared (muro t = 0.20 m)	
	silo opción concreto	127
LI.	Datos de diseño de losa (t = 0.15 m) silo opción concreto	128

LISTA DE SÍMBOLOS

Ao	Aceleración máxima efectiva del terreno
D	Diámetro del silo (m)
Ec	Módulo de elasticidad del concreto (Kg/cm ²)
Es	Módulo de elasticidad del acero (Kg/cm ²)
f'c	Resistencia nominal del concreto (Kg/cm ²)
fy	Resistencia nominal del acero (Kg/cm ²)
G	Fuerza de gravedad (m/seg ²)
H	Altura del silo (m)
Io	Índice de sismicidad
Ro	Coefficiente de reducción de respuesta sísmica
t	Espesor de losa o muro
V	Fuerza sísmica cortante a nivel de la base (corte basal)
V8	Versión 8

GLOSARIO

Estructura no convencional	Estructura cuya retícula no es ortogonal, en este estudio se entenderá por estructura no convencional a un domo y un silo.
Frame	Línea con el potencial de representar elementos estructurales tales como vigas, columnas o cables.
Interacción	Importación y/o exportación de archivos en formato DXF entre los programas de estructuras ETABS [®] V8, SAP2000 [®] V8 y el programa de dibujo autoCAD [®] 2000.
Joint	Puntos de unión de elementos estructurales conocidos también como nodos. Se utilizan para localizar elementos, asignar cargas, analizar deformaciones o reacciones de la estructura.

**Modelo
analítico – geométrico**

Fusión de los modelos analíticos y los modelos geométricos, toman en cuenta la geometría de la estructura, las propiedades mecánicas de los materiales tipos de cargas, métodos de análisis, combinaciones de cargas.

Run Analysis

Para los programas ETABS® V8 y SAP2000® V8 es la acción de correr el programa.

Story

En el programa ETABS® V8 representa la planta de los niveles de la estructura.

RESUMEN

Este estudio presenta una guía para la modelación de estructuras no convencionales mediante el uso de los programas de computación de estructuras ETABS[®] y SAP2000[®] ambos en versión 8 y su interacción con el programa de dibujo autoCAD[®] 2000. Las estructuras denominadas como no convencionales son el domo de la zona 13 y un silo.

La exportación de archivos DXF entre autoCAD[®] 2000 y SAP2000[®] V8 fue el punto de partida para la creación de los modelos del domo en el programa SAP2000[®] V8, se presentan los modelos, análisis, resultados y diseño de las dos opciones del domo, una con cubierta de acero y otra con cubierta de concreto.

ETABS[®] V8 fue el programa de estructuras mediante el cual se realizaron los modelos del silo con opción de chapa metálica y con pared de concreto, en este estudio se muestra la interacción entre ETABS[®] V8 Y autoCAD[®] 2000 para la generación de planos del silo, así como los modelos del silo, sus resultados del análisis y diseño.

Los resultados del análisis y diseño que proporcionan los programas de estructuras son muy confiables dado que realizan los cálculos en base a códigos conocidos en el ámbito de la ingeniería como el código AISC- LFRD93 para el diseño de elementos de acero y el código ACI 318-99 para el diseño de elementos de concreto.

OBJETIVOS

General

Describir el proceso de modelación de estructuras no convencionales utilizando como auxiliares los programas de computación ETABS[®] versión 8, SAP2000[®] versión 8 y autoCAD[®] 2000.

Específicos

1. Proporcionar una guía para modelar una estructura no convencional.
2. Presentar la forma en la cual interactúan los programas de computación de estructuras ETABS[®] y SAP2000[®] ambos en versión 8 y el programa de dibujo autoCAD[®] 2000.
3. Destacar las ventajas que proporciona la utilización de los programas ETABS[®] V8, SAP2000[®] V8 y autoCAD[®] 2000 para el cálculo, diseño y presentación de estructuras no convencionales.
4. Utilizar los programas ETABS[®] V8, SAP2000[®] V8 y autoCAD[®] 2000 para la modelación y diseño de las estructuras no convencionales (domo zona 13 y un silo).
5. Interesar a las autoridades de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala a incluir en el pensum de la carrera de ingeniería civil el cálculo y diseño de estructuras mediante el uso de programas de computación con alta capacidad de modelación analítica.

INTRODUCCIÓN

El análisis y diseño de estructuras se ha realizado durante muchos años mediante el análisis de modelos, generalmente matemáticos, muy extensos y a veces tediosos de realizar, por lo cual el estudiante y profesional de la ingeniería debe actualizar sus conocimientos respecto a las técnicas más modernas de análisis y diseño de estructuras para ser más eficiente y productivo.

Los programas de computación SAP2000® V8 y ETABS® V8 son dos de los programas de mayor uso en Guatemala y el mundo entero, surgen como alternativa para realizar el análisis y diseño de estructuras de una forma fácil, rápida y con alto grado de confiabilidad.

El presente trabajo de investigación llena el vacío existente acerca del conocimiento de estos programas de computación de estructuras y sus aplicaciones en la Ingeniería al hacer una descripción de los programas, sus componentes e interacción; presenta, además una guía para modelar estructuras no convencionales la cual constituye la parte medular de este estudio.

Esta guía contiene la secuencia paso a paso, que se debe seguir para la realización del modelo de una estructura no convencional, esta guía se utilizó en la realización de los modelos del domo de la zona 13, ciudad de Guatemala y un silo, con opciones en acero y concreto.

Los resultados del diseño que proporcionan los programas así como los planos finales se incluyen en este estudio.

La principal limitante del programa SAP2000[®] V8 es no tener capacidad de diseño de muros y losas, y la del programa ETABS[®] V8 es no tener capacidad de diseño de losas, la limitante respecto al diseño de losas se compensa con la capacidad que tienen estos programas de exportar las losas al programa SAFE[®] (no se describe en este estudio) el cual es un programa especializado en el diseño de losas.

1. MODELOS COMO BASE DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

1.1 Qué es un modelo

Un modelo es la representación de una estructura, ésta representación debe ajustarse de la mejor manera posible a la realidad. Al hacer el modelo base para el análisis estructural, deben tomarse en cuenta algunos factores como el tipo de estructura, materiales de construcción y los tipos de cargas que actuarán sobre ella.

Asímismo, debe tenerse sumo cuidado en que las cargas sean representativas y/o proporcionales entre la estructura y el modelo que se esté elaborando, esto con el fin de obtener una estructura económica, resistente y segura.

Los modelos al ser analizados ayudan a determinar el posible comportamiento de la estructura. En esta etapa se obtienen los resultados necesarios para elaborar el diseño de la estructura en sí, tomando en cuenta los valores obtenidos de la acción de las cargas, deformaciones de la estructura, diagrama de carga axial, torsión, diagrama de corte y momentos flectores.

1.2 Tipos de modelos

En la historia de la humanidad las grandes civilizaciones de la antigüedad tuvieron que recurrir a su ingenio e inventiva para la creación de grandes estructuras. Los griegos, romanos y egipcios, lograron, sobre la base de modelos, construir imponentes edificaciones de carácter social, religioso y militar.

La técnica de modelar estructuras ha evolucionado enormemente; en la actualidad se puede recurrir a diferentes tipos de modelos que permiten analizar el posible comportamiento de la estructura con el fin primordial de realizar un correcto diseño del objeto real que se intenta construir.

1.2.1 Modelo físico

Los modelos físicos también son conocidos como modelos a escala, en este tipo se toma como referencia la estructura en tamaño real y en base a ésta se construye un modelo generalmente más pequeño. El modelo conserva la geometría y proporción de dimensiones. Es difícil lograr la correcta relación entre cargas y propiedades mecánicas que correspondan a la estructura real y el modelo que se está elaborando ya que hay propiedades mecánicas que no disminuyen linealmente.

El fin primordial de este tipo de modelos es analizar el comportamiento de la estructura que esté sometida a diferentes exigencias de servicio, con dicho análisis se debe realizar un diseño que contrarreste esas demandas.

Este tipo de modelos puede aplicarse en proyectos con fines arquitectónicos y no estructurales. Este tipo de modelos queda fuera del alcance de este estudio.

1.2.2 Modelo prueba y error

Como su nombre lo indica los modelos prueba y error se caracterizan por su constante renovación; al probar varias opciones constructivas hasta encontrar la configuración estructural óptima que no produzca fallas que ameriten una nueva reparación o ajuste. En este tipo de modelos la estructura real pasa a ser el modelo en sí, sobre el cual se realizan los análisis y correcciones correspondientes.

1.2.3 Modelo analítico

Los modelos analíticos son aquellos que se auxilian de medios matemáticos para su representación y análisis, estos modelos consideran las cargas que actúan en la estructura y su forma de aplicación, el tipo de apoyo de cada elemento, estas condiciones son básicas para llegar a simular de una manera confiable la estructura.

1.2.4 Modelo geométrico

Los modelos geométricos son aquellos que toman en cuenta la geometría de los elementos estructurales, sus dimensiones, posición en la estructura y las distintas propiedades de los materiales que los conforman, estos modelos se realizan con programas de computación especializados en estructuras.

1.2.5 Modelo analítico – geométrico

El modelo analítico-geométrico es el más avanzado que existe en la actualidad, su origen está en la fusión de los modelos analíticos y los modelos geométricos, estos se realizan mediante el uso de programas de computación especializados en el área de estructuras, tienen capacidad de realizar el análisis, cálculo y diseño de la estructura.

Los programas de estructuras toman en cuenta las propiedades de los materiales de construcción, su resistencia, peso específico, módulo de elasticidad, también consideran la geometría de la estructura, secciones de cada elemento, tipos de cargas, métodos de análisis y tienen capacidad de realizar diseños en acero y concreto.

Aunque estos programas son de fácil manejo es recomendable que la persona que los utilice tenga conocimientos de análisis y diseño de estructuras para interpretar y analizar los resultados que proporcionan. Estos programas realizan los cálculos y el diseño en base a códigos internacionales conocidos como los códigos ACI 318-99, AISC-LRFD 93 y UBC94 entre otros, razón por la cual poseen un alto grado de confiabilidad.

En el presente trabajo de investigación se utilizará como herramientas básicas para la elaboración de este tipo de modelos los programas ETABS[®] y SAP2000[®] ambos en versión 8. Para enriquecer esta investigación se adiciona autoCAD[®] 2000 por ser un programa especializado en dibujo, que interactúa con los programas estructurales mediante la importación y exportación de archivos. La empresa SISMOCONSULT S.A propiedad del Dr. Héctor Monzón Despang posee las licencias de los programas de computación utilizados en esta investigación.

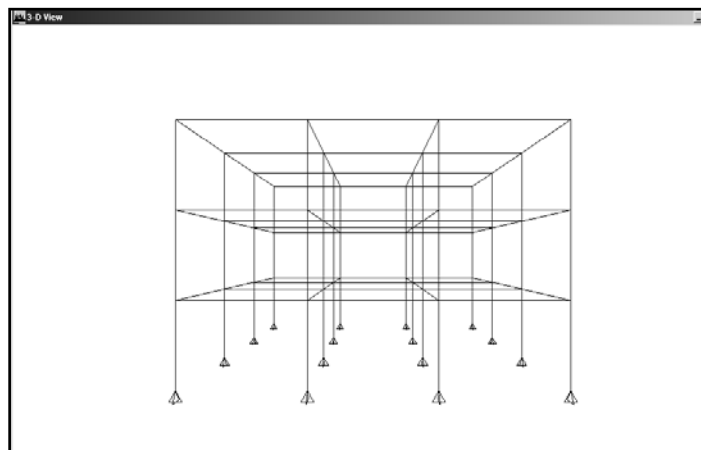
2. MODELOS ANALÍTICOS – GEOMÉTRICOS

2.1 Modelos reticulares simples

Los modelos reticulares simples son los más sencillos de modelar utilizando programas de computación. Estos modelos están compuestos por marcos, integrados por una retícula ortogonal simple que resulta de la unión de vigas y columnas, este tipo de modelos analíticos-geométricos se generan empleando programas de estructuras como ETABS® V8 y SAP2000® V8, con estos programas es factible realizar diseños en concreto y acero de éste y cualquier otro tipo de estructura.

En la figura 1 se muestra un ejemplo típico de un modelo reticular simple compuesto por marcos de concreto armado.

Figura 1. Modelo reticular simple programa ETABS® versión 8



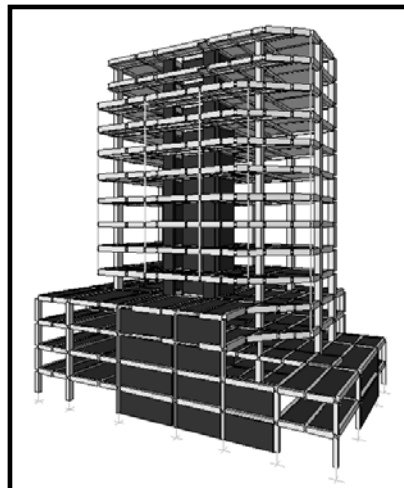
2.2 Modelos reticulares avanzados

Los modelos reticulares avanzados presentan un mayor grado de complejidad estructural en comparación con los modelos reticulares simples dada la variedad de elementos estructurales que lo componen y los efectos que pueden producir sobre la estructura.

Los elementos reticulares avanzados son aquellos que cuentan con una retícula bien estructurada, están conformados por vigas, columnas, muros de concreto o mampostería y losas.

Al realizar este tipo de modelos con los programas ETABS[®] V8 y SAP[®] 2000 V8 debe verificarse que todos y cada uno de los elementos que conforman la retícula actúen independientemente, verificar el tipo de apoyos en las uniones que tienen los elementos estructurales y la aplicación de las cargas para lograr un modelo apegado a la realidad y que al ser analizado por los programas proporcione resultados confiables. La figura 2 es un ejemplo típico de los modelos reticulares avanzados.

Figura 2. Modelo reticular avanzado edificio AG programa SAP2000[®] V8



2.3 Modelos de estructuras no convencionales

La modelación analítica de estructuras no convencionales (sin retículas ortogonales) compuestas de placas o cascarones es la parte medular del presente estudio, por las características que poseen las estructuras se ha denominado estructuras no convencionales a un domo y un silo.

Se proporciona una metodología para la realización de un modelo analítico – geométrico de las estructuras no convencionales, en la cual se muestra el proceso de elaboración del modelo utilizando como herramientas básicas los programas de computación de estructuras ETABS[®] V8, SAP2000[®] V8 y el programa de dibujo autoCAD[®] 2000.

En las figuras 3 y 4 se muestran los modelos analítico-geométricos de un domo y un silo.

Figura 3. Modelo analítico-geométrico domo opción acero programa SAP2000[®] versión 8

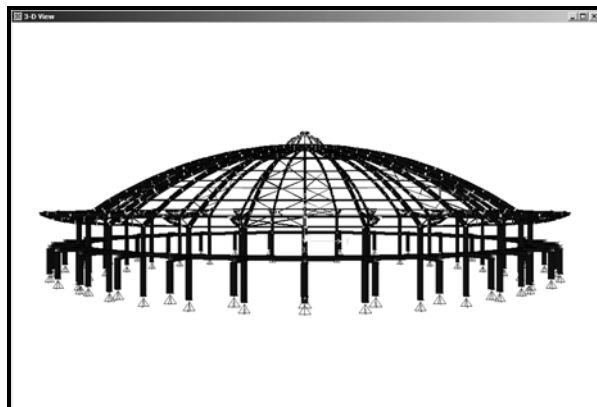


Figura 4. Modelo analítico - geométrico silo opción concreto programa ETABS® versión 8



2.4 Cómo hacer un modelo analítico – geométrico de estructuras no convencionales

Existen varias formas de realizar un modelo, en la actualidad los avances tecnológicos permiten crear modelos de cualquier tipo de estructura de una manera rápida y eficiente, economizando recursos humanos y financieros.

Los programas de estructuras ETABS® V8 y SAP2000® V8, poseen su propio campo de aplicación, el uso de cada programa depende del tipo de estructura a modelar. Para modelar estructuras con niveles fijos es recomendable el uso del programa ETABS® V8, que trabaja por niveles que no contienen elementos intermedios.

Para elaborar el modelo de una estructura con varios ejes cercanos y con poca variación de altura es recomendable el programa SAP2000® V8.

La guía para la elaboración de un modelo analítico-geométrico de una estructura no convencional que se presenta a continuación es extensible para cualquier otro tipo de estructura, esta guía se puede visualizar paso a paso en las figuras 5, 6 y 7.

Figura 5. Guía para modelar una estructura no convencional utilizando programas de computación de estructuras y dibujo que interactúan

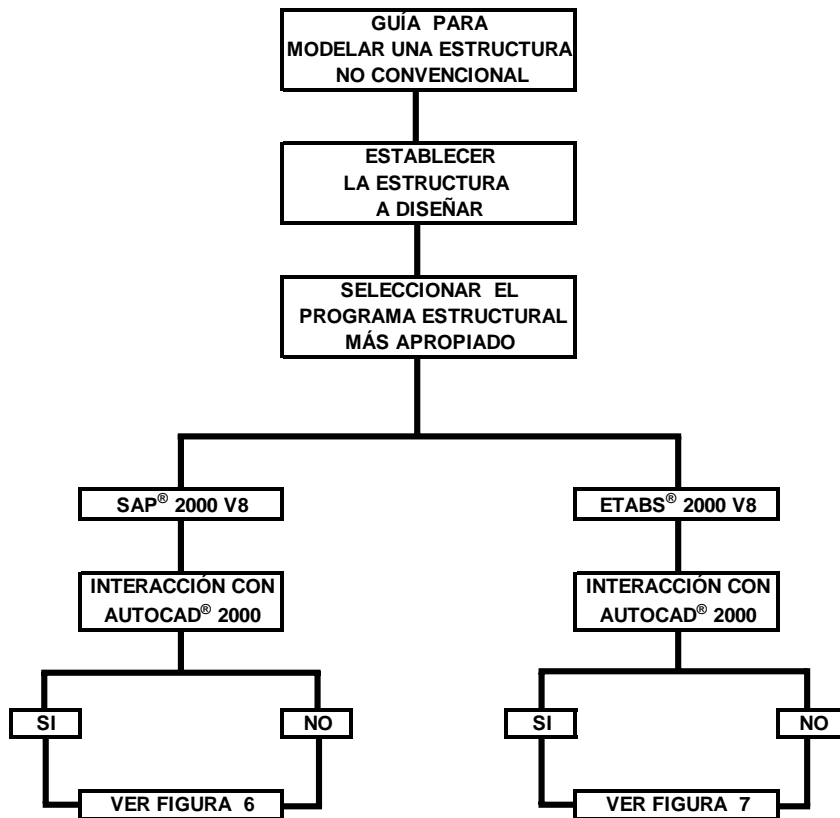


Figura 6. Modelación de una estructura no convencional por medio del programa SAP2000® versión 8

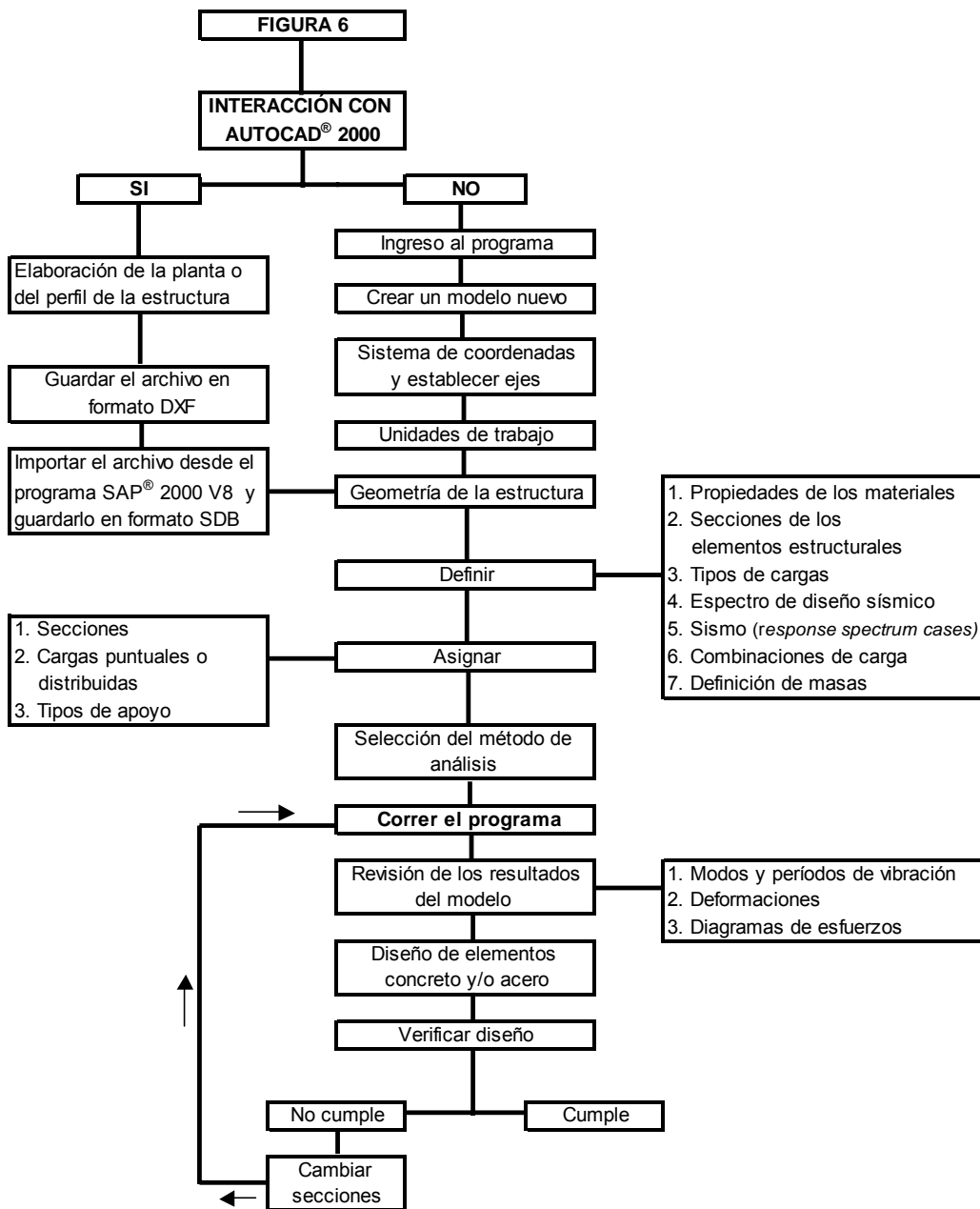
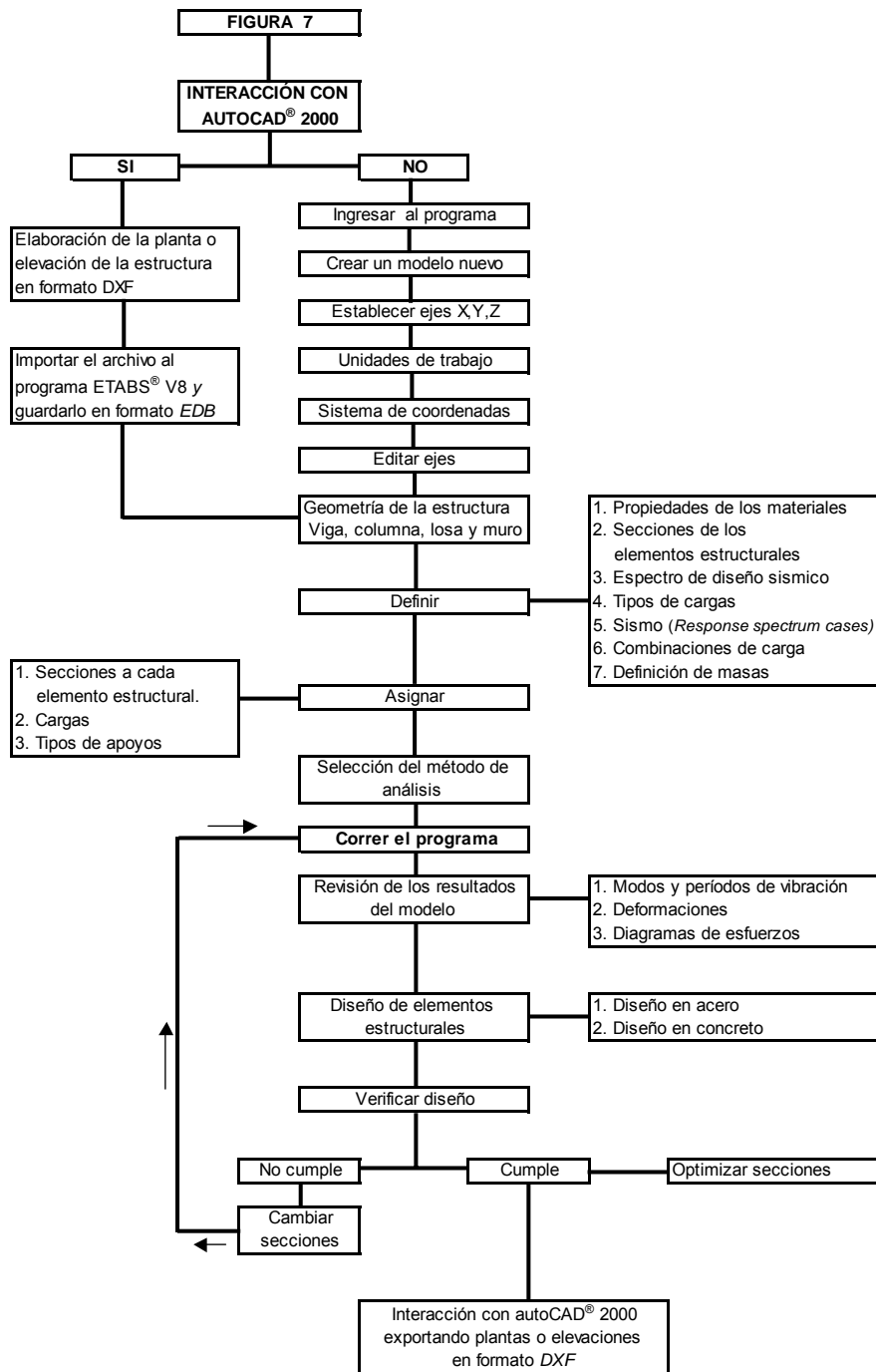


Figura 7. Modelación de una estructura no convencional por medio del programa ETABS® versión 8



3. PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES Y DE DIBUJO QUE INTERACTÚAN

3.1 Descripción del Programa SAP2000® versión 8

Figura 8. Presentación del programa SAP2000® versión 8



El programa SAP2000® versión 8 fue diseñado por la empresa *Computers & Structures, Inc. (CSI)* en Berkeley, California, Estados Unidos de Norte América.

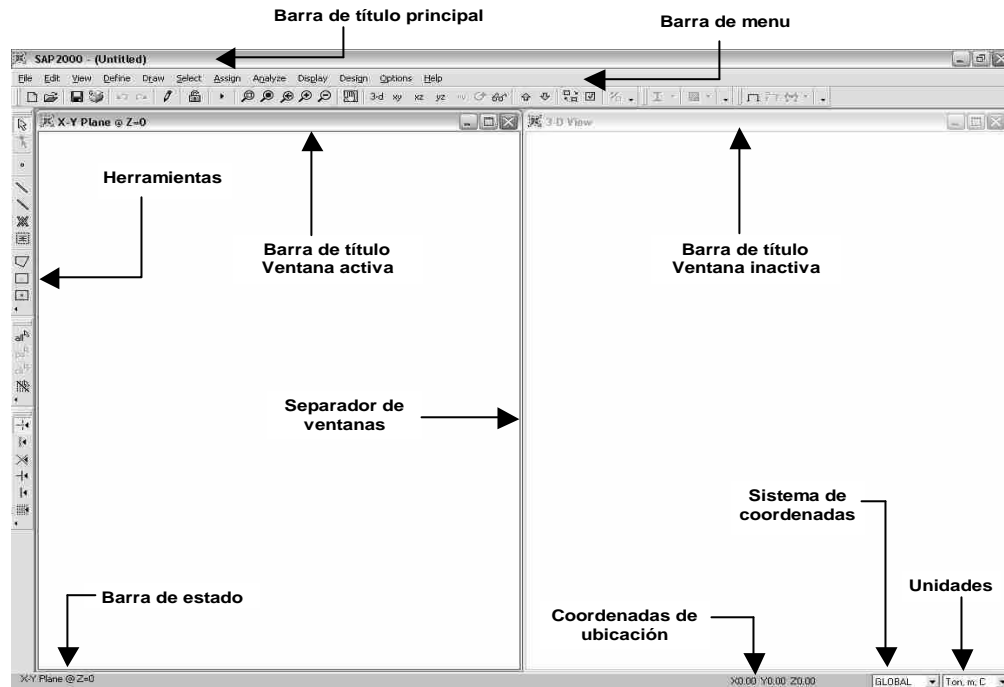
Este programa es considerado más sofisticado y versátil que las versiones anteriores de las series SAP®, su campo de aplicación es muy diverso, puede ser utilizado en los problemas simples de ingeniería así como en proyectos de gran envergadura.

Los programas de las series SAP[®] desde su introducción hace más de 30 años han sido de gran ayuda, específicamente en el campo de la ingeniería estructural, las primeras versiones fueron los programas SAP[®], SOLIDSAP[®] y SAP[®] IV seguidos por las versiones SAP[®] 80 y SAP[®] 90.

El programa SAP2000[®] V8 es uno de los programas más utilizados en las principales oficinas de cálculo estructural de Guatemala y el mundo entero por ser un programa de fácil manejo que proporciona resultados con alto grado de confiabilidad. Este programa cuenta con un interfase gráfico y una poderosa capacidad de diseño que da como resultado un programa de análisis, cálculo y diseño de cualquier tipo de estructuras inigualable en eficiencia y confiabilidad.

En la figura 9 se muestran los componentes del interfase gráfico del programa SAP2000[®] V8 por medio del cual se construye el modelo analítico - geométrico de cualquier tipo de estructura no convencional o convencional.

Figura 9. Interfase gráfico programa SAP2000® versión 8



3.1.1 Descripción de los componentes del interfase gráfico del programa SAP2000® V8

3.1.1.1 Barra de título principal

Contiene el nombre del programa y del modelo que se esté realizando.

3.1.1.2 Barra de menú

Los menús del programa SAP2000® V8 mediante los cuales se realiza el modelo analítico – geométrico de una estructura se encuentran en esta barra y son archivo, editar, ver, dibujar, seleccionar, asignar, analizar, desplegar / mostrar, diseñar, opciones y ayuda.

3.1.1.3 Herramientas

Son iconos que se encuentran debajo de la barra de menú y al extremo izquierdo de la pantalla, su función es facilitar las tareas de modelación de la estructura al tener acceso rápido a los comandos que se encuentran en la barra de menú, las herramientas se personalizan de acuerdo a las necesidades del usuario.

Algunas de las herramientas de mayor uso son modelo nuevo, abrir archivo, guardar, dibujar líneas (vigas, columnas y cables), dibujar áreas (losas, muros), modos de selección de elementos, generar diversas vistas de la estructura (XY, YZ, XZ) y 3D, diseño en concreto y diseño en acero, correr / ejecutar el análisis.

3.1.1.4 Barras de título ventana activa e inactiva

Las ventanas representan el área de trabajo, se identifican con su correspondiente barra de título, la ventana activa es aquella en la cual se trabaja y la ventana inactiva se utiliza como referencia de ubicación, esto es cuando se usan dos o más ventanas.

3.1.1.5 Separador de ventanas

Es la divisoria entre la ventana activa y la ventana inactiva.

3.1.1.6 Sistema de coordenadas

Indica el sistema de coordenadas activo. Este sistema de coordenadas puede ser cartesiano (X, Y, Z) o cilíndrico (radio, ángulo, elevación).

3.1.1.7 Coordenadas de ubicación

Indica la ubicación del cursor o *mouse* en coordenadas (X,Y,Z) referidas al sistema de coordenadas en uso.

3.1.1.8 Unidades

Indica las unidades de trabajo, éstas se pueden cambiar de acuerdo a las necesidades del usuario, el formato de unidades es fuerza, longitud y temperatura.

3.1.1.9 Barra de estado

Indica la vista que se tiene en la ventana activa o la función que se lleve a cabo.

3.1.2 Guía para la modelación de una estructura no convencional utilizando el programa SAP2000[®] V8

Para la creación de un modelo analítico-geométrico mediante el uso del SAP[®] 2000 versión 8 debe tomarse en cuenta los factores descritos en la figura 7, los cuales se describen a continuación.

3.1.2.1 Interacción autoCAD[®] 2000 con SAP2000[®] V8

Dibujar la sección o planta de la estructura a diseñar, guardarla como archivo DXF para su posterior exportación al programa SAP2000[®] V8.

En el caso de que no se tenga interacción con el programa autoCAD® 2000 se debe ingresar directamente al programa SAP2000® V8.

3.1.2.2 Ingresar al programa SAP2000® V8

3.1.2.3 Crear un modelo nuevo

Seleccionar archivo, luego modelo nuevo en la barra de menú.

3.1.2.4 Sistema de coordenadas

El sistema de coordenadas es un sistema tridimensional rectangular, con tres ejes X, Y, Z el programa SAP2000® V8 siempre considera el eje +Z hacia arriba. El usuario puede redefinir el sistema de coordenadas según sus necesidades.

3.1.2.5 Unidades de trabajo

El usuario puede seleccionar las unidades de medida que más se adecuen a sus necesidades, el formato para unidades es (fuerza, longitud, temperatura).

3.1.2.6 Importación del archivo DXF

Importar el archivo DXF elaborado previamente en el programa autoCAD® 2000, seleccionando importar y luego archivo DXF del menú “archivo” localizado en la barra de menú. Este paso es equivalente a dibujar la estructura.

3.1.2.7 Dibujar geometría de la estructura

Se deben dibujar los elementos estructurales que definirán la configuración de la estructura, los elementos más comunes son:

3.1.2.7.1 *Frames*

Estos elementos tienen el potencial de representar vigas, columnas o cables.

3.1.2.7.2 Área

Las secciones de área se utilizan para modelar losas, muros y membranas.

3.1.2.8 Definir

Para la elaboración de un modelo analítico –geométrico se deben definir los siguientes componentes:

3.1.2.8.1 Materiales

Los materiales más utilizados en la construcción son el concreto y el acero, se deben definir sus propiedades mecánicas como resistencia, módulo de elasticidad, coeficiente de expansión térmica y peso específico.

3.1.2.8.2 Secciones

Definen la geometría de los elementos estructurales, se debe establecer sus dimensiones, recubrimientos y acero de refuerzo. En vigas se define la base y el peralte; las columnas se pueden definir conforme a su sección rectangular o circular; para muros y losas se define el espesor.

3.1.2.8.3 Cargas

Las cargas representan acciones sobre el modelo de la estructura, pueden ser fuerzas o presiones aplicadas en forma puntual o distribuida, las cargas típicas que actúan en la estructura son carga viva, carga muerta, carga de viento y/o sismo.

3.1.2.8.4 Espectro de diseño sísmico (response – spectrum functions)

En este estudio se utilizará el espectro de diseño sísmico para un suelo S2 de las Normas Recomendadas AGIES 2000 para la República de Guatemala, el cual es compatible con el código UBC 94.

3.1.2.8.5 Casos de análisis

Definen cómo han sido aplicadas las cargas a la estructura, pueden ser clasificados en lineal y no lineal, entre los lineales se encuentra el análisis estático, análisis modal y el análisis *response-spectrum*. Entre los no lineales se tiene el análisis estático no lineal y *time – history* no lineal.

3.1.2.8.6 Sismo (response spectrum cases)

En este estudio para la definición del sismo se utiliza el “*response spectrum cases*” denominado “SPEC1” su definición se muestra en la figura 10, en la cual la dirección de acción U1, U2 y U3 es equivalente a (X,Y,Z), su espectro de diseño sísmico y su factor de escala se definen en ese mismo cuadro.

$$\text{Factor de escala} = \frac{G \times A_o}{R_o}$$

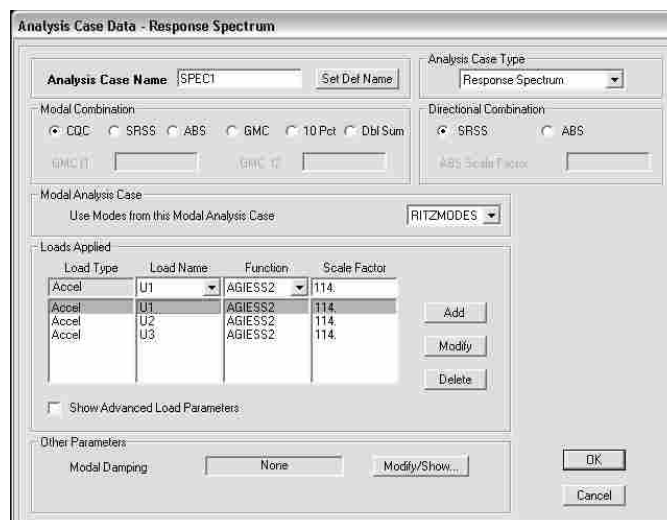
Donde:

G = fuerza de gravedad 9.81 m/seg²

Ao = Aceleración máxima efectiva del terreno

Ro = Factor de reducción respuesta sísmica por capacidad post-elástica de la estructura.

Figura 10. Cuadro de definición de sismo (*response spectrum case*) programa SAP2000® versión 8



3.1.2.8.7 Combinaciones de carga

Son combinaciones que sirven para realizar el análisis de la estructura y el diseño. Estas combinaciones de carga se establecen por medio de códigos de construcción el Código AISC-LFRD 93 para estructuras de acero y el código ACI 318 – 99 para estructuras de concreto.

En la figura 11 se muestra el cuadro para definición de cargas en el programa SAP2000® V8, en él se define el nombre de la carga, tipo de carga y su respectivo factor.

Figura 11. Cuadro de definición de combinaciones de carga programa SAP2000® versión 8

Case Name	Case Type	Scale Factor
CVA	Linear Static	1.7
MUERTA	Linear Static	1.4
VIVA	Linear Static	1.7

3.1.2.8.8 Definición de masas

Sirve para `computar las fuerzas de inercia de la estructura, se debe definir la fuente que provee las masas, ésta puede provenir de los elementos y masas adicionales y de las cargas.

3.1.2.9 Asignar

Se debe asignar secciones y cargas a cada uno de los elementos definidos con anterioridad de acuerdo a la configuración de la estructura que se desea obtener.

Para asignar secciones como primer paso se seleccionan los elementos (*frames* o áreas) a los cuales se les asignará alguna sección, como segundo paso se selecciona la función “asignar” y se escogerá el tipo de sección a asignar a los elementos.

Para asignar cargas se debe seleccionar el elemento sobre el cual actúe la carga, este elemento puede ser un *joint*, *frame* o área, luego se selecciona el tipo de carga a asignar (carga viva, carga muerta o carga de viento), posteriormente se introduce el valor de la carga y la dirección en la cual actúa.

3.1.2.10 Selección del método de análisis

El programa SAP2000® V8 tiene capacidad de realizar análisis estático y dinámico según sea la necesidad del usuario, el análisis modal dinámico proporciona los periodos de vibración de la estructura.

3.1.2.11 Correr el programa

Este comando se activa al seleccionar el icono “*Run Analysis*” de la barra de herramientas.

3.1.2.12 Revisión de resultados

3.1.2.12.1 Modos y períodos de vibración

Como primer indicio del comportamiento de la estructura están los modos y períodos de vibración, estos deben seguir cierto patrón establecido en la tabla I. Debe tomarse en cuenta al menos dos modos de vibración traslacionales y uno torsional, así como los modos de vibración cuyo período sea mayor a 0.4 segundos.

Tabla I. Patrón de modos y períodos de vibración

Modo de vibración	Tipo de movimiento	Período de vibración (seg.)
1	1er. Traslación lado corto	variable
2	1er. Traslación lado largo	variable
3	1er. Torsión	variable
4	2do. Traslación lado corto	variable
5	2do. Traslación lado largo	variable
6	2do. Torsión	variable

3.1.2.12.2 Deformaciones

La revisión de la deformación del modelo se realiza seleccionando en la barra de herramientas “mostrar forma de deformación” (*show deformed shape*) luego al seleccionar un *joint*, se despliega un cuadro con la información de la deformación que sufrió el *joint* en los ejes X, Y, Z; el porcentaje de deformación se obtiene de aplicar la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Deformación} = \frac{\text{Deformación sismo} \times R_o}{\text{Altura}} \times 100$$

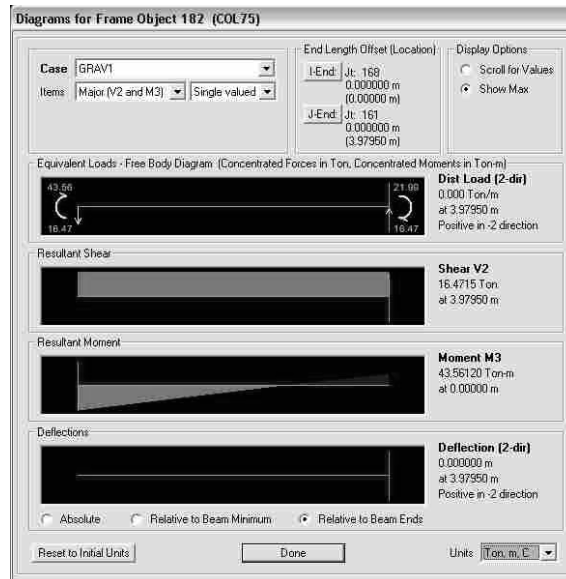
Realizar la revisión de deformaciones conforme a las normas recomendadas AGIES 1996 sección 2-8.4.3 compatible con el código UBC 94.

3.1.2.12.3 Diagramas de esfuerzos

Para realizar el diseño de la estructura, el programa SAP2000[®] V8 se basa en los diagramas de corte, momento flexionante, carga axial y torsión provenientes de la acción de las cargas y sus respectivas combinaciones. Para visualizar estos diagramas se debe seleccionar “*show member forces/stress diagram*” en la barra de herramientas.

La forma en que el programa SAP2000[®] V8 muestra los diagramas se visualiza en la figura 12.

Figura 12. Diagramas de corte y momento flexionante programa SAP2000® versión 8



3.1.2.13 Diseño

Para el diseño de estructuras de acero o concreto mediante el programa SAP2000® V8 se debe seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar “Diseñar” en la barra de menú
- Seleccionar “Diseño en acero” o “Diseño en concreto”
- Establecer los grupos de elementos a diseñar en acero o concreto
- Definir las combinaciones de carga que intervienen en el diseño en acero o concreto

- Seleccionar “Iniciar diseño/revisión de la estructura” para acero o concreto

3.1.2.14 Verificar diseño

Para el diseño de elementos de acero se debe verificar que no se exceda su capacidad de carga, si el elemento falla debe rediseñarse.

En la figura 13 se muestra el cuadro de verificación de diseño de elementos de acero que proporciona el programa SAP2000® V8, en él se muestra el número de elemento, su sección de análisis, sección de diseño, código de diseño y el valor del esfuerzo de la combinación de carga.

Figura 13. Cuadro de verificación de diseño de elementos de acero programa SAP2000® versión 8

COMBO ID	STATION	LOC	RATIO	Interaction Check	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
DISACERO	0.00		0.997(T)	= 0.082 + 0.903 + 0.013	0.066	0.002
DISACERO	251.53		0.424(T)	= 0.081 + 0.271 + 0.072	0.063	0.002

Una de las grandes ventajas del programa SAP2000® V8 para diseñar estructuras es que proporciona el refuerzo longitudinal de cada elemento.

Debe verificarse que los elementos estructurales sean diseñados con el refuerzo adecuado a su sección, si algún elemento excede su refuerzo máximo permisible debe rediseñarse.

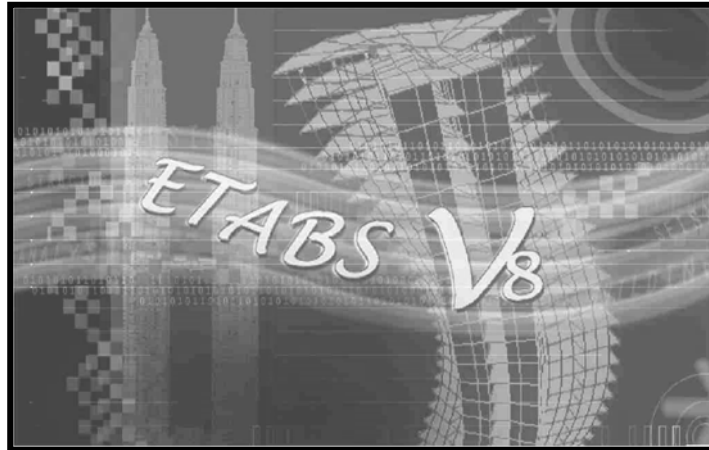
En la figura 15 se muestra el cuadro de verificación de diseño de elementos de concreto que proporciona el programa SAP2000® V8, en el cual se muestra el número de elemento, código de diseño, sección de análisis y diseño, tipo de refuerzo y combinación de carga que genera el refuerzo.

Figura 14. Cuadro de verificación de diseño de elementos de concreto programa SAP2000® versión 8

COMBO ID	STATION LOC	LONGITUDINAL REINFORCEMENT	MAJOR SHEAR REINFORCEMENT	MINOR SHEAR REINFORCEMENT
SIM01	397.95	44.179	0.000	0.063
SIM02	0.00	54.923	0.000	0.063
SIM02	397.95	44.179	0.000	0.063
SIM03	0.00	47.162	0.000	0.000
SIM03	397.95	44.179	0.000	0.000
SIM04	0.00	47.162	0.000	0.000
SIM04	397.95	44.179	0.000	0.000
CONCOL	0.00	74.850	0.000	0.063

3.2 Descripción del programa ETABS® versión 8

Figura 15. Presentación del programa ETABS® versión 8



El programa ETABS® V8 es elaborado por *Computers & Structures, Inc.* (CSI) en Berkeley, California, Estados Unidos de Norte América. Es un programa de computación de estructuras especializado en edificios, este concepto de programas especializados fue introducido aproximadamente hace 40 años.

ETABS® V8 provee las herramientas necesarias para la modelación de vigas, columnas, losas macizas, losas nervuradas y muros, posee la capacidad de realizar diseños en concreto y en acero.

ETABS® V8 trabaja por medio de niveles fijos, definidos al inicio de la creación de cada modelo analítico-geométrico, estos son denominados “*story*”.

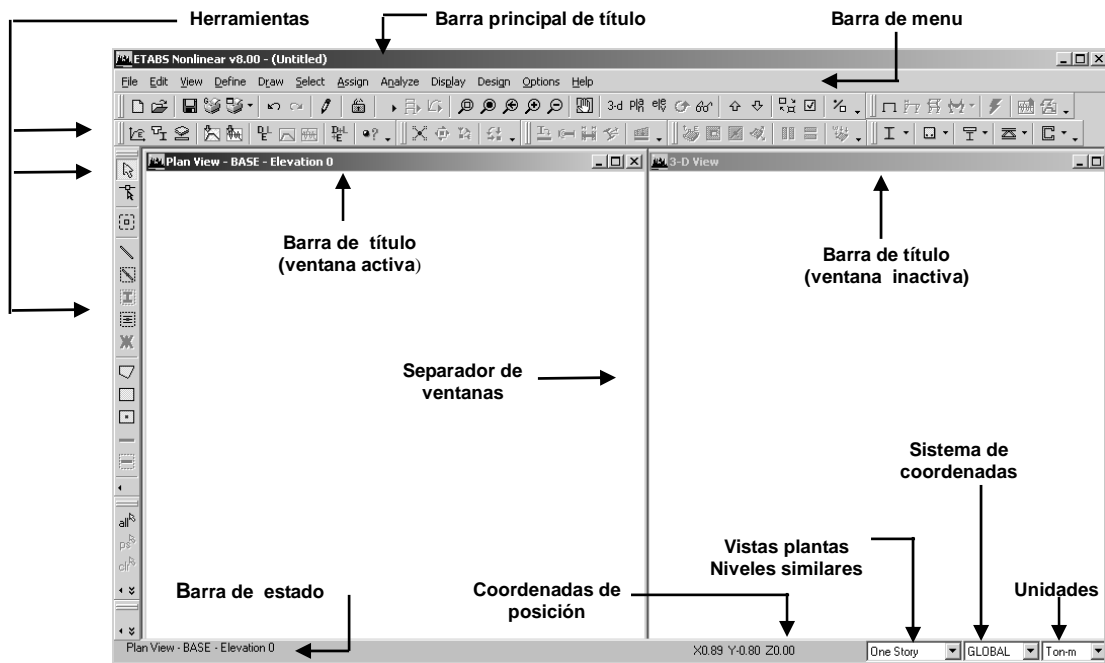
Algunas características que hacen de ETABS® V8 un programa eficiente y más amigable con el usuario son las siguientes:

- Permite dibujar y calcular vigas continuas al no tener que dividirlos por tramos.
- Permite dibujar columnas desde una planta (XY)
- Tiene la capacidad de dibujar muros desde una planta (XY)
- Diseña muros
- Modela losas rectangulares, triangulares y poligonales
- Puede definir losas nervuradas y rampas
- Asigna cargas a losas, vigas o *joints*

Con el programa ETABS® V8 es factible crear un modelo de cualquier estructura, realizar su análisis y diseño, tiene la capacidad de optimizar el diseño y realizar modificaciones de una manera rápida, esto se logra mediante el uso del interfase gráfico.

En la figura 16 se muestra cómo está conformado el interfase gráfico del programa ETABS® V8. Es sumamente importante conocer sus componentes dado que en base a ellos se desarrolla todo el proceso de modelación, análisis y diseño de una estructura.

Figura 16. Interfase gráfico programa ETABS® versión 8



3.2.1 Descripción de los componentes del interfase gráfico del programa ETABS® V8

3.2.1.1 Barra de título principal

Contiene el nombre del programa (ETABS® *nonlinear* V8) y el nombre del modelo.

3.2.1.2 Barra de menú

Contiene los menús archivo, editar, ver, definir, dibujar, seleccionar, asignar, analizar, desplegar / mostrar, diseñar, opciones y ayuda. Estos permiten la realización del modelo analítico-geométrico de la estructura.

3.2.1.3 Herramientas

Son iconos que se encuentran debajo de la barra de menú y al extremo izquierdo de la pantalla, su función es facilitar las tareas de creación de modelo al tener acceso rápido a los comandos que se encuentran en la barra de menú.

Entre las herramientas más utilizadas se puede mencionar modelo nuevo, abrir archivo, guardar, dibujar líneas (vigas o columnas), dibujar áreas (losas, muros), dibujar puntos, formas de selección de elementos, generar diversas vistas de la estructura (planta, elevación y 3D), definir (materiales, secciones, cargas), diseñar en concreto y diseñar en acero.

La barra de herramientas se personaliza de acuerdo a las necesidades del usuario al agregar o remover alguna función.

3.2.1.4 Ventana activa e inactiva

Las ventanas representan el área efectiva de trabajo, en ellas se visualiza el proceso de creación de la estructura, el usuario puede escoger la cantidad de ventanas a utilizar, en la ventana activa se trabaja y la ventana inactiva sirve como referencia, esto únicamente cuando se usan dos o más ventanas.

3.2.1.5 Separador de ventanas

El separador de ventanas es la divisoria entre la ventana activa y la ventana inactiva, este separador aplica cuando se utilizan dos o más ventanas.

3.2.1.6 Barra de estado

Suministra información referente al tipo de vista y nivel que se muestra en la ventana principal y elementos seleccionados.

3.2.1.7 Coordenadas de posición

Las coordenadas de posición muestran la ubicación exacta del cursor (*mouse / ratón*) respecto al sistema de coordenadas establecido.

3.2.1.8 Dibujar en vistas plantas y niveles similares

Esta opción permite dibujar un elemento en varios niveles (*story*) que sean iguales.

3.2.1.9 Sistema de coordenadas

Indica el sistema de coordenadas activo, puede ser cartesiano o cilíndrico.

3.2.1.10 Unidades

Indica las unidades de trabajo, éstas se pueden cambiar de acuerdo a las necesidades del usuario. El formato de unidades es fuerza y longitud.

3.2.2 Guía para la modelación de una estructura no convencional utilizando el programa ETABS® V8

Para la creación de un modelo analítico-geométrico mediante el uso del programa ETABS® versión 8 se deben tomar en cuenta los pasos mostrados en la figura 8 del capítulo 2, los cuales se definen a continuación.

3.2.2.1 Ingresar al programa ETABS® V8

3.2.2.2 Crear un modelo nuevo

Seleccionar archivo y luego modelo nuevo en la barra de menú.

3.2.2.3 Establecer ejes X,Y,Z

Establecer número de ejes en dirección X y Y con su espaciamiento, número de niveles (*story*) y su altura para los niveles Z, luego seleccionar “*Grid only*” con lo cual se genera la cuadrícula de ejes de referencia denominada *Grid lines*.

3.2.2.4 Unidades de trabajo

Formato de unidades (fuerza, longitud).

3.2.2.5 Sistema de coordenadas

Definir el sistema de coordenadas, puede ser cartesiano o cilíndrico.

3.2.2.6 Editar ejes (*edit > edit story data*)

En este paso se puede cambiar el espaciamiento entre ejes y niveles, editar nombre de losas y definir losas similares.

3.2.2.7 Dibujar geometría de la estructura

Dibujar vigas, columnas, muros y losas, utilizando las funciones “*draw lines*”, “*draw areas*”, “*create columns in region or at clicks*” y “*draw walls*” en la barra de herramientas.

3.2.2.8 Definir

3.2.2.8.1 Propiedades de los materiales

Especificando el tipo de material, su resistencia, módulo de elasticidad, peso específico y coeficiente de expansión térmica. El cuadro en el cual se definen las propiedades se muestra en la figura 17.

Figura 17. Cuadro de definición de propiedades del concreto programa ETABS® versión 8

Section	Property	Value
Material Name	Material Name	CONC
	Display Color	Color
Type of Material	Type of Material	Isotropic
	Type of Design	Concrete
Analysis Property Data	Mass per unit Volume	0.2448
	Weight per unit Volume	2.4026
	Modulus of Elasticity	2526713
	Poisson's Ratio	0.2
	Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06
	Shear Modulus	1052797
Design Property Data	Specified Conc Comp Strength, f'c	2800
	Bending Reinf. Yield Stress, fy	42000
	Shear Reinf. Yield Stress, fys	42000
	Lightweight Concrete	<input type="checkbox"/>
Shear Strength Reduc. Factor		

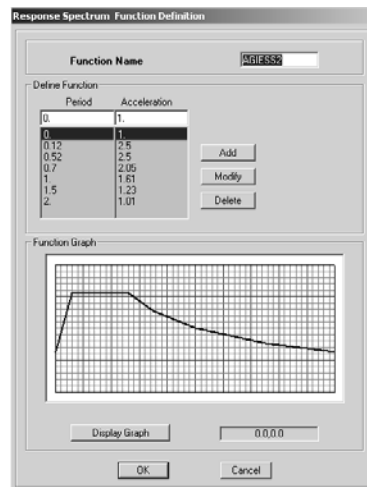
3.2.2.8.2 Secciones de los elementos estructurales

Definir sus dimensiones, recubrimiento y posible acero de refuerzo, en vigas definir base y peralte; las columnas se pueden definir rectangulares y circulares, para muros y losas se debe definir el espesor. ETABS® V8 tiene la capacidad de incluir tubos de acero de diferentes diámetros así como elementos de acero de diferente sección.

3.2.2.8.3 Espectro de diseño sísmico (response – spectrum functions)

En el presente estudio se utilizará espectro de diseño sísmico para un suelo S2 de las Normas Recomendadas AGIES 2000, el cual es compatible con el código UBC 94. Cuando se define por el usuario se utiliza un cuadro que se muestra en la figura 18, en el cual se introduce el período y su aceleración, otros códigos que se pueden seleccionar con este programa son el UBC 97, BOCA 96, NEHRP 97, EuroCode8.

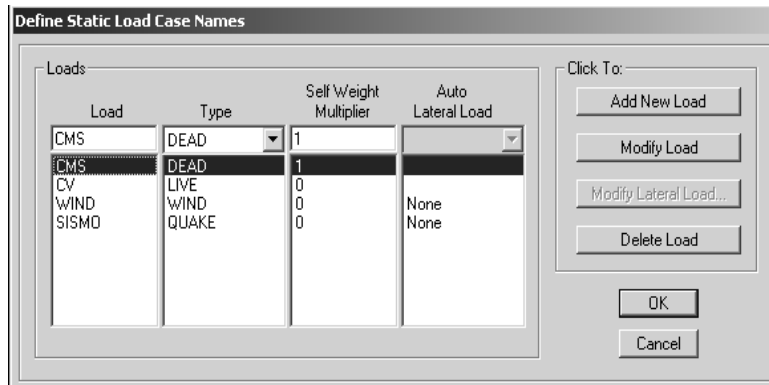
Figura 18. Cuadro de definición del espectro sísmico de diseño programa ETABS® versión 8



3.2.2.8.4 Tipos de cargas

Representan acciones sobre el modelo de la estructura, las cargas típicas son carga viva, carga muerta, carga de viento y/o sismo, éstas dos últimas cargas son generadas de acuerdo a los requerimientos de los códigos de construcción seleccionados; se definen en el cuadro de la figura 19.

Figura 19. Cuadro de definición de tipos de cargas programa ETABS® V8



3.2.2.8.5 Sismo (response spectrum cases)

El *Response spectrum cases* representa la magnitud del sismo en función del tipo de suelo, tipo de estructura; debe definir la dirección de acción U1, U2, UZ, equivalentes a (X,Y,Z) su espectro de diseño sísmico y su factor de escala en su respectivo cuadro de definición, ver figura 20.

$$\text{Factor de escala} = \frac{G \times A_0}{R_0}$$

Donde

G = fuerza de gravedad 9.81 m/seg²

A₀ = Aceleración máxima efectiva del terreno

R₀ = Factor de reducción respuesta sísmica por capacidad post-elástica de la estructura.

Figura 20. Cuadro de definición de sismo (*response spectrum cases*) programa ETABS® versión 8

Direction	Function	Scale Factor
U1	AGIESS2	0.87
U2	AGIESS2	0.87
UZ	AGIESS2	0.87

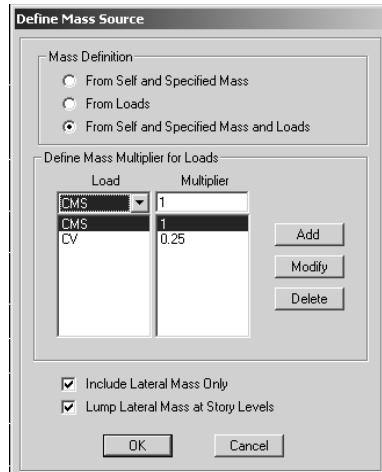
3.2.2.8.6 Combinaciones de carga

Son combinaciones que sirven para realizar el análisis de la estructura y su respectivo diseño. Estas combinaciones se establecen por medio de códigos, AISC-LFRD 93 para estructuras de acero y ACI 318 – 99 para estructuras de concreto, son los códigos utilizados en este estudio.

3.2.2.8.7 Definición de masas

Las masas sirven para computar las fuerzas de inercia de la estructura, se debe definir la fuente que provee las masas, (ver figura 21) pueden provenir de los elementos, masas adicionales y cargas.

Figura 21. Cuadro de definición de masas programa ETABS® versión 8



3.2.2.9 Asignar

3.2.2.9.1 Secciones

Para asignar secciones como primer paso se seleccionan los elementos (*frames* o áreas) a los cuales se les desea asignar una sección, como segundo paso se selecciona la función “asignar” y se escoge el tipo de sección a asignar a los elementos seleccionados previamente.

3.2.2.9.2 Cargas

Para asignar cargas se debe seleccionar el elemento sobre el cual se desea que actúe dicha carga, este elemento puede ser un *joint*, *frame* o área, luego se selecciona el tipo de carga (carga viva, carga muerta o carga de viento), posteriormente se introduce el valor de la carga y la dirección en que actúa.

3.2.2.9.3 Tipos de apoyos

En este programa se pueden definir apoyos simples, articulaciones o empotramientos.

3.2.2.10 Selección del método de análisis

El programa ETABS[®] V8 tiene capacidad de realizar análisis estático y análisis dinámico, la elección de alguno de estos métodos de análisis está sujeta al criterio del diseñador. El análisis modal dinámico proporciona los periodos de vibración de la estructura.

3.2.2.11 Correr el programa

Este comando se activa al seleccionar el icono “*Run Analysis*” de la barra de herramientas.

3.2.2.12 Revisión de resultados

3.2.2.12.1 Modos y períodos de vibración

Los modos y períodos de vibración son el indicio del comportamiento de la estructura, para acceder a ellos se debe seleccionar en la barra de menú “desplegar” y luego “mostrar modo de vibración” (*show mode shape*), éstos deben seguir el patrón establecido en la tabla I.

Debe tomarse en cuenta al menos dos modos de vibración traslacionales y uno torsional, así como los modos de vibración cuyo período sea mayor a 0.4 seg.

3.2.2.12.2 Deformaciones

La revisión de la deformación del modelo se realiza seleccionando en la barra de herramientas “mostrar forma de deformación” (*show deformed shape*) luego al seleccionar un *joint* se despliega un cuadro con la información de la deformación que sufrió dicho *joint* en los ejes X, Y, Z. El porcentaje de deformación se obtiene de aplicar la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Deformación} = \frac{\text{Deformación sismo} \times R_0}{\text{Altura}} \times 100$$

Realizar la revisión de deformaciones conforme a las normas recomendadas AGIES 1996 sección 2-8.4.3 compatible con el código UBC 94.

3.2.2.12.3 Diagramas de esfuerzos

Los diagramas de esfuerzos sirven de base para el diseño de los elementos estructurales, cuyos valores se determinan de la acción de las combinaciones de cargas. Los diagramas que se pueden visualizar son los de torsión, carga axial, corte y momento flexionante.

Para tener acceso a estos diagramas y los valores de los mismos se debe escoger “desplegar”, luego “*show member forces / stress diagram*” en la barra de menú.

3.2.2.13 Diseño de elementos estructurales

3.2.2.13.1 Diseño en acero

Para diseñar en acero mediante el programa ETABS® V8 se debe realizar la siguiente secuencia:

1. Menú diseñar
2. Diseñar elementos de acero
3. Seleccionar grupos a diseñar
4. Seleccionar combinaciones de carga para diseño
5. Iniciar diseño/revisión de estructura

3.2.2.13.2 Diseño en concreto

Para diseñar en concreto mediante el programa ETABS® V8 se debe realizar la siguiente secuencia:

1. Menú diseñar
2. Diseñar elementos de concreto
3. Seleccionar combinaciones de carga para diseño
4. Iniciar diseño/revisión de la estructura

3.2.2.13.3 Diseño de muros de corte

Para diseñar muros de corte mediante el programa ETABS® V8 se debe realizar la siguiente secuencia:

1. Seleccionar “diseñar” en la barra de menú
2. Seleccionar “diseñar muros de corte”
3. Escoger las combinaciones de carga para el diseño de muros de corte
4. Iniciar diseño/revisión de la estructura

3.2.2.14 Verificar diseño

Debe verificarse que los elementos de acero estén dentro de los límites de capacidad de carga de acuerdo al código de diseño escogido, si algún elemento excede su capacidad de carga debe ser rediseñado.

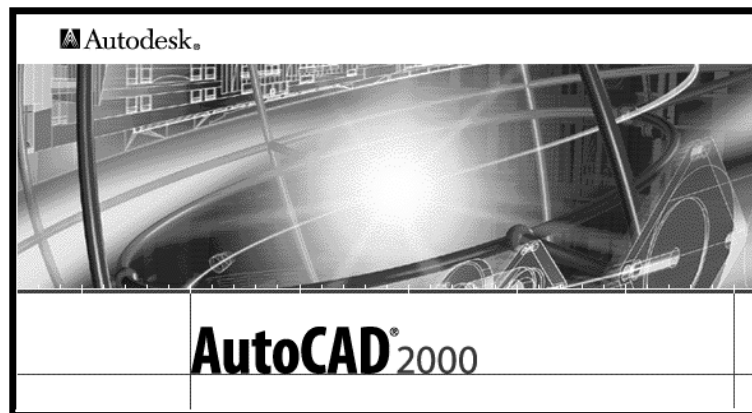
La revisión del acero de refuerzo de las vigas, columnas y muros que es elaborado por el programa es crucial para el correcto diseño de la estructura. Debe verificarse la existencia o no de falla de algún elemento estructural, si existe algún elemento que exceda su capacidad de carga este debe diseñarse de nuevo.

3.2.2.15 Interacción ETABS® V8 con autoCAD® 2000

La interacción entre el programa ETABS® V8 y el programa autoCAD® 2000 es posible al exportar archivos (plantas o elevaciones) con formato DXF del programa ETABS® V8 hacia el programa autoCAD® 2000.

3.3 Descripción del programa autoCAD® 2000

Figura 22. Presentación del programa autoCAD® 2000



El programa de computación de dibujo autoCAD® 2000 fue desarrollado por la empresa Autodesk®, el término CAD significa Diseño Asistido por Computadora (*Computer Aid Design*), este programa de computación sirve para generar, almacenar y modificar información de carácter gráfico.

Se han realizado varias versiones del programa autoCAD® por ejemplo; autoCAD® 9, autoCAD® R13 y R14, autoCAD® 2000, autoCAD® 2002 y autoCAD® 2004, que es el más reciente.

Este tipo de programa de computación tiene la capacidad de realizar dibujos bidimensionales o tridimensionales según las necesidades del usuario, el programa autoCAD® 2000 es muy útil en la industria de la construcción para la generación de planos.

Las ventajas de autoCAD® 2000 son ahorro de tiempo y recursos económicos al poder realizar planos estructurales y correcciones a los mismos de manera eficiente y sumamente rápida, en comparación al método antiguo de elaborar los planos a mano; estas características lo convierten en una valiosa herramienta para todas las personas que se dedican a la ingeniería.

Para realizar un dibujo mediante la utilización del programa autoCAD® 2000 se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Ingresar al programa
- Crear un archivo nuevo
- Definir sistema de medidas
- Establecer sistema de coordenadas
- Definir límites de trabajo

- Elaborar *layers* (capas)
- Trazar ejes de la estructura
- Dibujar los elementos usando las herramientas de dibujo. (líneas, círculos, arcos, etc.)
- Definir los elementos de texto a insertar en el dibujo
- Acotar
- Definir la escala del dibujo
- Imprimir planos

3.4 Aplicaciones en la Ingeniería Civil

Las aplicaciones de los programas de computación en el campo de la Ingeniería son muy diversas. Por ejemplo, los programas de estructuras ETABS[®] V8 y SAP2000[®] V8 se emplean para el análisis y diseño de estructuras no convencionales como silos y domos, así como estructuras convencionales, casas, edificios, puentes y bodegas.

Estos programas pueden realizar diseños en concreto y en acero, las ventajas que proporcionan son aumentar la eficiencia del análisis y diseño estructural, proporcionan ahorro de tiempo del personal y por ende de recursos económicos, siempre con el objetivo de realizar una estructura económica y segura.

El programa autoCAD® 2000 se enfoca al dibujo o elaboración de planos de las estructuras diseñadas, los planos contienen generalidades y detalles específicos de la estructura.

Al programa autoCAD® 2000 le corresponde la presentación final del proyecto, todo lo realizado con los programas estructurales y los diseños elaborados por los ingenieros se coronan con un juego de planos bien realizado en el cual se tenga una buena visualización de lo que se debe construir.

3.5 Interacción entre programas de computación de estructuras no convencionales y de dibujo

La interacción entre los programas de computación de estructuras ETABS® V8, SAP2000® V8 y el programa de dibujo autoCAD® 2000 consiste en la propiedad que poseen estos programas de importar o exportar archivos entre ellos; esto significa un gran avance en la elaboración de modelos por medio de programas de computación pues permite intercambiar archivos, ahorrando recursos económicos al optimizar tiempo y personal en cada proyecto.

Los programas ETABS® V8 y SAP2000® V8 interactúan con el programa autoCAD® 2000 de la forma siguiente:

Importando y exportando modelos en los siguientes formatos:

- AutoCAD® .DXF
- ETABS® V8 .e2k archivo de texto

- SAP[®]2000 v7 .s2k archivo de texto
- SAP[®] 2000 V8 .s2K
- *Microsoft Excel workbook*
- *Microsoft access database*

3.5.1 Interacción entre los programas autoCAD[®] 2000 y SAP2000[®] V8

La interacción entre los programas autoCAD[®] 2000 y SAP2000[®] V8 para la elaboración del modelo analítico-geométrico del domo se efectúa de la forma siguiente.

El primer paso consiste en dibujar una sección del domo en el programa autoCAD[®] 2000; esta sección debe ser elaborada con la misma *layer* para que pueda ser correctamente interpretado por el programa SAP2000[®] V8, esta sección se debe guardar en formato autoCAD[®].DXF (Ver figura 23).

Como segundo paso, en el programa SAP2000[®] V8 se importa el modelo autoCAD[®].DXF, (ver figura 24), como tercer paso se procede a generar el modelo analítico-geométrico del domo en el programa SAP2000[®] V8, copiando la sección importada en un arreglo circular con ejes a cada 11.25 grados, lo cual genera la totalidad de la estructura. (ver figura 25).

En la figura 26 se muestra el modelo analítico-geométrico del domo en el programa SAP 2000 V8 que surge de la interacción establecida con anterioridad.

En las figuras 23, 24, 25 y 26 se muestra la secuencia paso a paso de la forma en que se da la interacción entre autoCAD® 2000 y SAP2000® V8.

Figura 23. Sección del domo en programa autoCAD® 2000
formato DXF (paso 1)

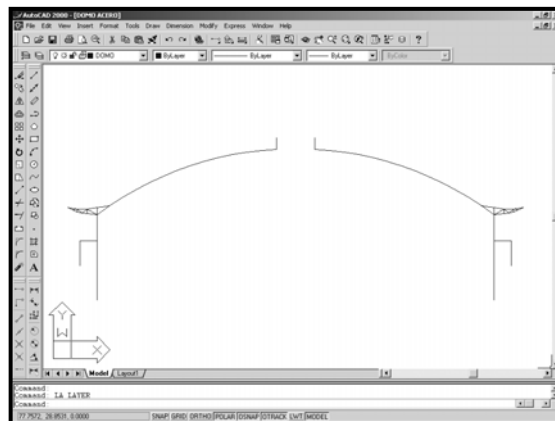


Figura 24. Importar la sección elaborada en autoCAD® 2000 al Programa SAP2000® versión 8 (paso 2)

Figura 25. Copiar la sección importada cada 11.25 grados (paso 3)

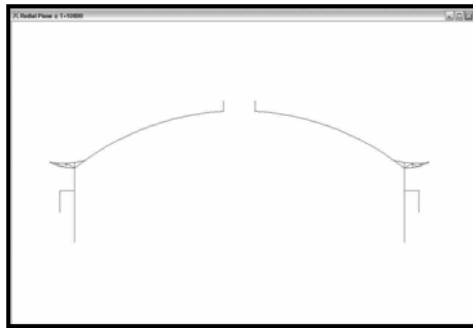


Figura 24

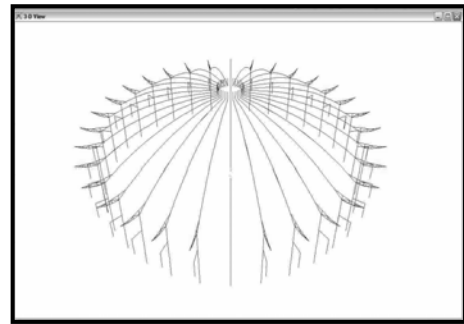
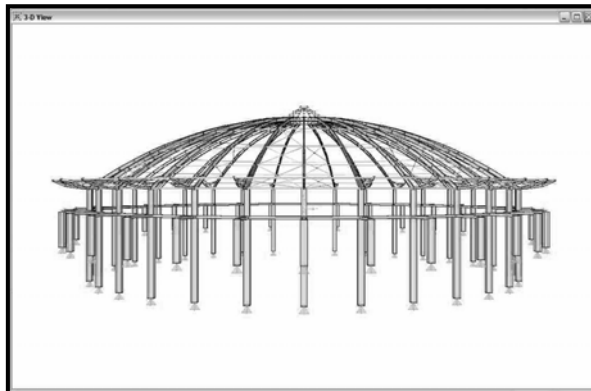


Figura 25

Figura 26. Generación del modelo analítico-geométrico del domo opción acero en el programa SAP2000® versión 8 en base a la interacción mostrada en las figuras 23, 24 y 25 (paso 4)



3.5.2 Interacción entre los programas ETABS® V8 y autoCAD® 2000

La interacción entre los programas ETABS® V8 y autoCAD® 2000 consiste en exportar un archivo en formato DXF del programa ETABS® V8 hacia el programa autoCAD® 2000. Para ello se debe realizar la siguiente secuencia:

- Seleccionar *File > export > save as .DXF file...* en la barra de menu del programa ETABS® V8
- Definir los nombres de las *layers* para el archivo DXF que se quiera generar
- Seleccionar los niveles (*story*) y objetos (vigas, columnas etc) a exportar
- Seleccionar unidades de dibujo, escala, área de dibujo y el alto y grosor del texto
- Seleccionar *“generate DXF”*
- Asignarle un nombre al archivo generado y guardarlo
- Ingresar al programa autoCAD® 2000 y abrir el archivo DXF generado previamente
- Incluir detalles para generación de planos

En las figuras 27, 28 y 29 se muestra la secuencia paso a paso de la forma en que se da la interacción entre autoCAD® 2000 y SAP2000® V8.

Figura 27. Planta a exportar del programa ETABS® V8 al programa autoCAD® 2000

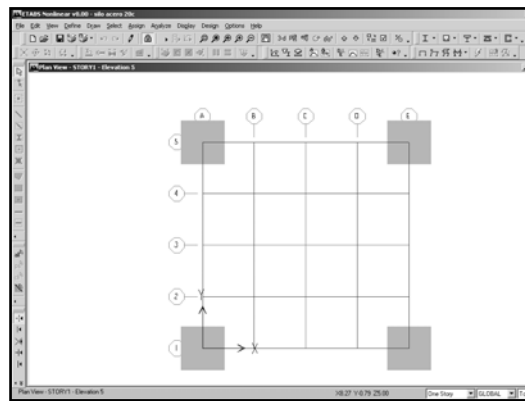


Figura 28. Planta importada en programa autoCAD® 2000

Figura 29. Modificación del archivo importado para generar el plano

Figura 28

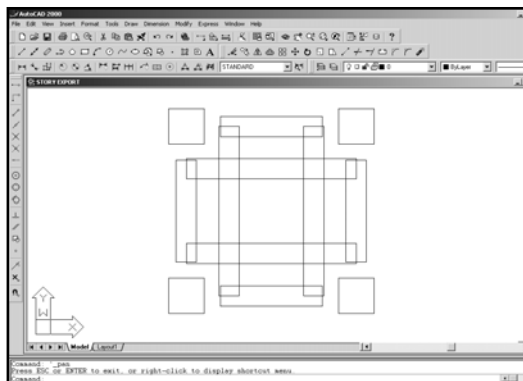
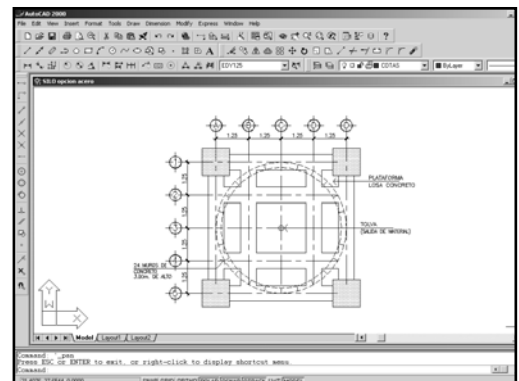


Figura 29



4 PARÁMETROS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS NO CONVENCIONALES

4.1 Materiales

En el presente capítulo se proporcionan algunos valores útiles de las propiedades de los materiales para la realización de un modelo analítico-geométrico de una estructura no convencional por medio de los programas ETABS® V8 y SAP2000® V8.

4.1.1 Acero

El acero debe ser dúctil, homogéneo y tener una buena resistencia a la corrosión. En la tabla II se muestran algunos valores de las propiedades mecánicas del acero, útiles para la realización de un modelo analítico-geométrico de una estructura no convencional con los programas ETABS® V8 y SAP® 2000 V8.

Tabla II. Valores de propiedades mecánicas de los aceros estructurales

f_y (Kg/cm ²)	E_s (Kg/cm ²)	Peso específico (Kg/m ³)	Coefficiente de expansión térmica (°C)	<i>Poisson's</i> <i>ratio</i>	Módulo de corte
2,810	2,040,000	7833.41	1.17 E -5	0.3	Calculado por los programas de computación
3,500	2,040,000	7833.41	1.17 E -5	0.3	
4,200	2,040,000	7833.41	1.17 E -5	0.3	
5,250	2,040,000	7833.41	1.17 E -5	0.3	

4.1.2 Concreto

Los concretos estructurales varían su resistencia nominal f_c y módulo de elasticidad. En la tabla III se muestran las propiedades mecánicas de los concretos estructurales y sus valores representativos que deben definirse en los programas ETABS[®] V8 Y SAP[®] 2000 V8.

Tabla III. Valores de propiedades mecánicas de los concretos estructurales

f_c (Kg/cm ²)	$E_c = 15,100\sqrt{f_c}$ (Kg/cm ²)	Peso específico (Kg/m ³)	Coefficiente de expansión térmica (°C)	<i>Poisson's</i> <i>ratio</i>	Módulo de corte
245	236352.38	2400	9.9 E -6	0.2	Calculado por los programas de computación
280	252671.33	2400	9.9 E -6	0.2	
350	267998.41	2400	9.9 E -6	0.2	

4.1.3 Otros

Otro material poco utilizado en estos modelos pero que puede emplearse en la construcción de estructuras es el aluminio estructural, éste deberá cumplir con las normas de la *Aluminum Association*. En el programa SAP2000[®] V8 se debe definir la resistencia, peso específico, módulo de elasticidad, *poisson's ratio* y coeficiente de expansión térmica.

4.2 Tipos de cargas

4.2.1 Cargas verticales

4.2.1.1 Carga viva

La carga viva está determinada por el uso que se le da a una estructura, en la cual los generadores de dicha carga no se encuentran sujetos a la estructura, éstas pueden ser uniformemente distribuidas o concentradas.

En la tabla IV se muestran algunos valores de carga viva para la elaboración de modelos analíticos-geométricos de estructuras no convencionales.

Tabla IV. Valores de carga viva recomendados por Dr. Héctor Monzón para el diseño de estructuras no convencionales

Tipo de estructura	Uso	Carga viva Kg/m ²
Domo opción acero	Estructura principal	70-90
	Costaneras	50-60
	Cubierta	50-70
Domo opción concreto	Cubierta	50-80
Silo opción acero	Estructura principal	variable *
Silos opción concreto	Estructura principal	variable *
* La carga viva depende del grano a almacenar en el silo y del material de la pared del silo (chapa metálica o muro de concreto).		

4.2.1.2 Carga muerta

Se deben contemplar todas las cargas de los elementos de carácter permanente en la construcción incluyendo el peso propio de los elementos de la estructura, se incluye piso, rellenos, tabiques fijos, vidrieras y equipo fijo sujeto a la estructura.

En la tabla V se recomiendan valores de carga muerta superpuesta al peso propio para la elaboración de modelos analíticos-geométricos de estructuras no convencionales.

Tabla V. Valores de carga muerta recomendados por Dr. Héctor Monzón para el diseño de estructuras no convencionales

Tipo de estructura	Uso	Carga muerta superpuesta al peso propio (Kg/m ²)
Domo opción acero	Estructura principal	30 - 50
	Costaneras	30 - 50
Domo opción concreto	Cubierta	150 - 250
Silo opción acero	Estructura principal	No aplica
Silos opción concreto	Estructura principal	No aplica

4.2.2 Cargas laterales

4.2.2.1 Cargas de sismo

3.5.2.1.1 Diseño sismo-resistente

La carga sísmica

La carga sísmica depende de varios factores como el índice de sísmicidad, tipo de estructura, factor de reducción sísmica y condiciones del suelo.

Según NEHRP 85¹ afín a las normas recomendadas AGIES, para un suelo tipo S2 se tiene la siguiente expresión:

$$V = (S_a/R) * W$$

$$S_a = \frac{1.2 A_o S}{T_m^{2/3}} \quad \text{o} \quad 2.5 A_o$$

Donde:

V Fuerza sísmica cortante al nivel de la base (corte basal)

Sa Aceleración sísmica de diseño para cada modo de vibración de la estructura

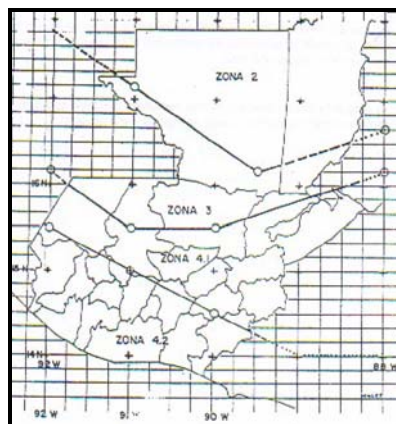
Ao Aceleración máxima efectiva del terreno

- Tm Periodo de vibración de la estructura en relación con su respectivo modo de vibración
- R Factor de reducción de respuesta sísmica por capacidad post-elástica (ductilidad) de la estructura
- S2 Suelo firme, cuyo basamento rocoso está a más de 50 metros de profundidad y cuyos depósitos son cenizas volcánicas, suelos granulares densos, limos densos o arcillas firmes.²

Aceleración máxima efectiva del terreno (A_0)

Ésta es una medida de la aceleración máxima efectiva del terreno correspondiente al sismo básico de diseño.³ Este parámetro depende de su ubicación geográfica (ver figura 30), los valores que puede tomar se muestran en la tabla VI.

Figura 30. Mapa de macrozonificación sísmica de Guatemala



Fuente: Normas Recomendadas AGIES NR – 2: 2002

Tabla VI. Valores A_o según zona sísmica

Zona sísmica	A_o
2	0.15 g
3	0.15g - 0.4 g
4.1	0.4 g
4.2	0.4 g

Factor de reducción de respuesta sísmica (R_o)

El valor de este factor depende de la ductilidad de la estructura, los valores recomendados para el diseño de estructuras no convencionales se muestran en la tabla VII.

Tabla VII. Valores de R_o para estructuras no convencionales

Estructura	R_o
Domo opción acero	3 - 3.5
Domo opción concreto	2 - 2.5
Silo opción acero	2 *
Silo opción concreto	2 *
* Péndulo invertido AGIES NR 2: 2002	

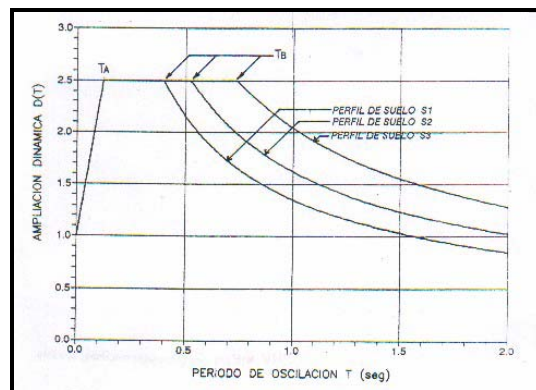
Espectro de diseño sísmico

Representa la amplificación dinámica de la respuesta máxima del oscilador elástico de un grado de libertad. ⁴

Es una función del periodo fundamental de vibración de la estructura (T) o de alguno de sus modos de vibración, según el método de análisis, así como del tipo de suelo.

Esta función está representada en la figura 29 para los diferentes perfiles de suelo: S1, S2 y S3.

Figura 31 Espectro sísmico de diseño



Fuente: Normas Recomendadas AGIES NR – 2: 1996

4.2.2.2 Cargas de viento

La carga de viento actúa de forma lateral, paralela a la base de la estructura. Su magnitud depende de la sensibilidad de la estructura a los efectos dinámicos provocados por la acción esta carga, otro factor que influye en la determinación de la magnitud es su ubicación geográfica.

El método 2 del área proyectada del código UBC-94 sirve para el cálculo de la carga de viento, este método se utiliza para el diseño de estructuras cuya altura sea menor de 60 metros.

En el método del área proyectada se entiende que las presiones laterales actúan sobre el área vertical total proyectada de la estructura y que las presiones verticales actúan simultáneamente sobre el área horizontal total proyectada. En la tabla VIII se muestran algunos valores recomendados para el diseño de estructuras no convencionales.

Tabla VIII. Valores de carga de viento para el diseño de estructuras no convencionales

Tipo de estructura	Uso	Carga de viento *
Domo opción acero	Estructura principal	100 Kph succión 75 Kg/m ²
	Costaneras	100 Kph succión 75 Kg/m ²
	Cubierta	100 Kph succión 75 Kg/m ²
Domo opción concreto	Cubierta	100 Kph succión 75 Kg/m ²
Silo opción acero	Estructura principal	113 Kph presión 80 Kg/m ²
Silos opción concreto	Estructura principal	113 Kph presión 80 Kg/m ²
* La carga de viento calculada según UBC-94 método 2 (área proyectada)		

4.2.3 Sobrecarga

La sobrecarga es una carga adicional; ésta representa una exigencia más para la estructura, su valor es variable de acuerdo al tipo de estructura, acabados y a otros factores como el clima o localización geográfica.

Dentro de la sobrecarga se puede considerar los efectos producidos por alguna carga viva adicional, grandes acumulaciones de nieve, agua de lluvia y arena volcánica. En Guatemala dada la existencia de numerosos volcanes dentro de su territorio es de suma importancia considerar la sobrecarga de arena volcánica. El tipo y valor de la sobrecarga queda a criterio del diseñador.

Tabla IX. Valores de sobrecarga para el diseño de estructuras no convencionales

Tipo de Estructura	Uso	Sobrecarga Kg/m ²
Domo opción acero	Estructura principal	100 - 160 *
	Costaneras	100 - 160 *
	Cubierta	30 - 80 * **
Domo opción concreto	Cubierta	100 - 150 * **
Silo opción acero	Estructura principal	No aplica
Silos opción concreto	Estructura principal	No aplica
* Arena asimétrica		
** Cielo suspendido debajo y/o equipo colgado		

4.3 Combinaciones de cargas

4.3.1 Combinaciones de carga para un domo

4.3.1.1 Para un domo opción acero

Combinaciones de carga método "AISC-LFRD 93"

V = Carga viva

M = Carga muerta

W= Carga cedente de viento

S= Carga sísmica cedente

Carga cedente gravitacional:	$1.2 M + 1.6 V$
Carga cedente de viento general:	$1.2 M + 0.5 V \pm W$ $1.2 M + 0.5 V + 1.3 W$ $0.9 M \pm 1.3 W$
Carga cedente sísmica general:	$1.2 M + 0.5 V \pm 1.3 S$ $0.9 M \pm 1.3 S$
Muerta	$1.4 M$

Combinaciones de carga propuestas por Dr. Héctor Monzón Despang

Diseño acero	$1 M + 1 V$
Cimentación	$1 M + 0.5 V$
Combinación para columnas	$1.2 M + 1 V + 1.4 S$
Combinación para vigas	$1.2 M + 1 V + 1 S$
Reversión en vigas	$0.8 M \pm S$

4.3.1.2 Para un domo opción concreto

Combinaciones de carga código ACI 318 - 99

Carga cedente gravitacional:	1.4 M + 1.7 V 1.4 M
Carga cedente de viento general:	0.75 (1.4 M + 1.7 V ± 1.7 W) 0.9 M ± 1.3 W
Carga cedente sísmica general:	0.75 (1.4 M + 1.7 V ± 1.87 S) 0.9 M ± 1.43 S

Combinaciones de carga propuestas por Dr. Héctor Monzón Despang

Cimentación	1 M + 0.5 V
Combinación para columnas	1.2 M + 1 V + 1.4 S
Combinación para vigas	1.2 M + 1 V + 1 S
Reversión en vigas	0.8 M ± S

4.3.2 Combinaciones de carga para un silo

4.3.2.1 Para un silo opción acero

Combinaciones de carga código ACI 318 - 99

Carga cedente gravitacional:	1.4 M + 1.7 V 1.4 M
Carga cedente de viento general:	0.75 (1.4 M + 1.7 V ± 1.7 W) 0.9 M ± 1.3 W

Carga cedente sísmica general: $0.75 (1.4 M + 1.7 V \pm 1.87 S)$
 $0.9 M \pm 1.43 S$

Combinaciones de carga propuestas por Dr. Héctor Monzón Despang

Cimentación	$1 M + 0.5 V$
Combinación para columnas	$1.2 M + 1 V + 1.4 S$
Combinación para vigas	$1.2 M + 1 V + 1 S$
Reversión en vigas	$0.8 M \pm S$

4.3.2.2 Para un silo opción concreto

Combinaciones de carga código ACI 318 - 99

Carga cedente gravitacional:	$1.4 M + 1.7 V$ $1.4 M$
Carga cedente de viento general:	$0.75 (1.4 M + 1.7 V \pm 1.7 W)$ $0.9 M \pm 1.3 W$
Carga cedente sísmica general:	$0.75 (1.4 M + 1.7 V \pm 1.87 S)$ $0.9 M \pm 1.43 S$

Combinaciones de carga propuestas por Dr. Héctor Monzón Despang

Cimentación	$1 M + 0.5 V$
Combinación para columnas	$1.2 M + 1 V + 1.4 S$
Combinación para vigas	$1.2 M + 1 V + 1 S$
Reversión en vigas	$0.8 M \pm S$

5. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

5.1 Predimensionamiento

5.1.1 Dimensiones de un domo

En una estructura no convencional como el domo opción acero las dimensiones de los elementos estructurales de acero se determinan en función de facilitar la construcción, reducir el peso de los elementos y que tengan la capacidad de soportar cargas principalmente en tensión o compresión, lo cual da como resultado una estructura ligera y poco densa. Los elementos de concreto se predimensionan utilizando el método de resistencia (*strength design*) del código ACI 318-99.

Para el predimensionamiento del domo opción concreto se empleó el método de resistencia (*strength design*) del código ACI 318-99. Se adicionaron anillos para formar paneles que redujeran el espesor de losa para la cubierta, con el objeto de reducir la carga muerta, que es la más crítica en este tipo de estructura.

5.1.2 Dimensiones de un silo

Los elementos estructurales de un silo se dimensionan a partir del tipo de grano y la cantidad a almacenar.

La presión que ejerce el material ensilado en la pared se calculó mediante el método de *Janssen*⁵ y la presión del viento por el método 2 área proyectada del código UBC 1994, para cuantificar esta presión y tener un espesor inicial de chapa lisa soldable (placa ASTM A36), la cual debe tener un espesor mínimo de ¼" y la capacidad de resistir las presiones horizontal y vertical que el material almacenado y el viento ejercen sobre ella.

Las vigas, columnas y losa se predimensionan por el método resistencia (*strength design*) del código ACI 318 – 99.

Como valor inicial del espesor de pared del silo opción concreto debe tomarse el mayor valor de las siguientes expresiones⁶:

Espesor en función del diámetro D en metros, $t = 10 + 2.5(D - 3 / 3)$

Espesor en función de la altura H en metros, $t = 10 + 2.5 (H - 6 / 12)$

El espesor de la pared del silo debe resistir los efectos producidos por el material ensilado y el viento. La presión ejercida por el material ensilado se calculó por el método *Janssen*⁵ y la presión del viento fue calculada por el método 2, área proyectada del código UBC 1994.

En el caso del silo opción acero los elementos estructurales se predimensionan por el método de resistencia (*strength design*) del código ACI 318 – 99.

5.2 Análisis y diseño de elementos de acero

5.2.1 Diseño de un domo

El análisis estructural del domo opción acero se realizó mediante el programa SAP2000® V8, los diferentes tipos de análisis utilizados, el estático lineal, análisis modal para modos de vibración y el análisis *response – spectrum* para la respuesta sísmica fueron definidos en un mismo modelo. El programa mediante la resolución de matrices de ecuaciones determina la respuesta de la estructura a los diferentes tipos de cargas, proporcionando deformaciones, diagramas de corte, diagramas de momento y de carga axial.

Los resultados para el diseño de los elementos de acero se realizó conforme al código AISC-LFRD 93.

5.2.2 Diseño de un silo

El análisis estructural del silo opción acero se realizó mediante el programa ETABS® V8, los diferentes tipos de análisis utilizados, el estático lineal, análisis modal para modos de vibración y el análisis *response – spectrum* para la respuesta sísmica fueron definidos en un mismo modelo, el programa mediante la resolución de matrices de ecuaciones determina la respuesta de la estructura a los diferentes tipos de cargas, proporcionando deformaciones, diagramas de corte, diagramas de momento y de carga axial.

El diseño de la chapa metálica se realizó manualmente al evaluar las presiones ejercidas sobre la chapa, dado que el programa ETABS® V8 no tiene la capacidad de diseñarla.

5.3 Análisis y diseño de elementos de concreto

5.3.1 Diseño de un domo

El análisis estructural del domo opción concreto se realizó mediante el programa SAP2000® V8, los diferentes tipos de análisis utilizados, el estático lineal, análisis modal para modos de vibración y el análisis *response – spectrum* para la respuesta sísmica fueron definidos en un mismo modelo. El programa determina la respuesta de la estructura a los diferentes tipos de cargas, proporcionando deformaciones, diagramas de corte, diagramas de momento flexionante y de carga axial que sirven de base para el diseño que el programa proporciona.

El diseño de los elementos de concreto se realizó conforme al código ACI 318–99.

5.3.2 Diseño de un silo

El análisis estructural del silo opción concreto se realizó mediante el programa ETABS® V8, los diferentes tipos de análisis utilizados, el estático lineal, análisis modal para modos de vibración y el análisis *response – spectrum* para la respuesta sísmica fueron definidos en un mismo modelo. El programa mediante la resolución de matrices de ecuaciones determina la respuesta de la estructura a los diferentes tipos de cargas, proporcionando deformaciones, diagramas de corte, diagramas de momento flexionante y de carga axial.

El diseño de los elementos de concreto se realiza al evaluar dichas soluciones conforme al código ACI 318–99.

6. APLICACIÓN DE LOS PROGRAMAS ETABS[®] V8, SAP2000[®] V8 Y AUTOCAD[®] 2000 EN EL DISEÑO DE UN DOMO Y UN SILO

6.1 Descripción de los modelos

6.1.1 Modelos del domo

6.1.1.1 Modelo del domo opción acero

MEMORIA DE CÁLCULO

Proyecto: Domo opción acero

Programa utilizado: SAP2000[®] V8

Modelo: Domo acero

Tipo de estructura: No convencional

Número de niveles: 1

Tipos de apoyos: Articulados

Materiales definidos

Concreto: $f'c$ 245 Kg/cm² vigas de cimentación y pilotes

$f'c$ 280 Kg/cm² columnas

Acero: f_y 4200 Kg/cm²

Secciones definidas

Elementos de acero

W 24 X 94, W 24 X 76, WT 12 X 34, P4, P6, P8, P10.

Elementos de concreto

Columnas circulares diámetro Ø 0.75 m

Vigas de cimentación 0.50 x 0.50 m

Pilotes con Ø 0.75 m de fuste y Ø 1.25 de campana

Integración de cargas

Tabla X. Integración de cargas de diseño domo opción acero

Uso estructura	Carga viva Kg/m ²	CMS al peso propio Kg/m ²	Viento * *
Estructura principal	80	40 * +	100 KPH succión 75 Kg/m ²
Costaneras	60	40 * +	
Cubierta	60	0 +	
* La carga muerta superpuesta incluye piso y cielo suspendido debajo y/o equipo colgado * * La carga de viento fue calculada según UBC - 94 método 2 (área proyectada) (+) Incluye carga de arena simétrica con 160Kg/m ² en la parte cóncava y 30 Kg/m ² en cumbre y 0 del lado opuesto			

Fuente: Proyecto POLIDEPORTIVO DE GUATEMALA

Dr. Héctor Monzón Despang

Parámetros de diseño sísmico

Coefficiente de reducción de respuesta sísmica (R_o): 3

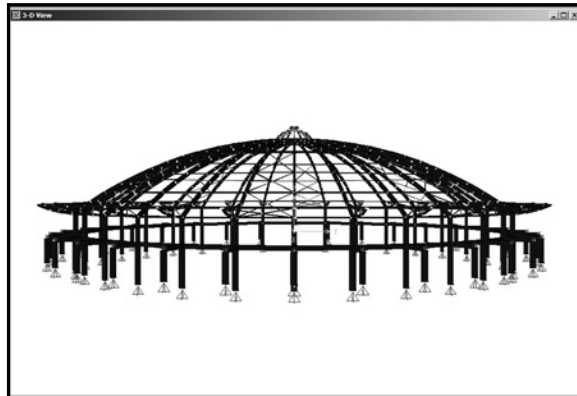
Aceleración máxima efectiva (A_o): 0.35 g horizontal y 0.35 g vertical

Tipo de suelo: S2 (AGIES NR – 2: 2000)

Espectro de diseño sísmico: AGIES - S2

Descripción de la estructura

Figura 32. Vista 3D modelo domo opción acero programa SAP2000® V8



La configuración del domo opción acero consiste en un arreglo circular con 32 ejes cada uno a 11.25 grados, con 5 anillos de compresión, un anillo doble de tracción y un anillo exterior (ver figura 36 plano S0-DA); así mismo consta de una cubierta liviana; las secciones de acero W 24 X 94, W 24 X 76, WT 12 X 34, P4, P6, P8 y P10 fueron utilizadas para el diseño de la cubierta (ver figura 40, plano S4-DA).

El domo opción acero cuenta con 32 columnas circulares de 0.75 m de diámetro una por eje, ubicadas radialmente 40 m respecto del centro de la estructura (ver figura 37, plano S1-DA).

La cimentación consiste en 2 pilotes por cada eje con 0.9 m de fuste y 1.25 m de campana, están unidos mediante una viga de cimentación de 0.50 x 0.50 m de sección (ver figura 38, plano S2-DA y figura 39, S3-DA), esta configuración tiene la doble función de proveer el anclaje y empotramiento necesario a la estructura.

6.1.1.2 Modelo del domo opción concreto

MEMORIA DE CÁLCULO

Proyecto: Domo opción concreto
Programa utilizado: SAP2000® V8
Modelo: Domo concreto
Tipo de estructura: No convencional
Número de niveles: 1
Tipos de apoyos: Articulados

Materiales definidos

Concreto: f 'c 245 Kg/cm² losas y vigas
f 'c 280 Kg/cm² columnas, vigas de cimentación y pilotes
Acero: f y 4200 Kg/cm²

Integración de cargas

Tabla XI. Integración de cargas de diseño domo opción concreto

Uso estructura	Carga viva Kg/m ²	CMS al peso propio Kg/m ²	Viento * *
Cubierta	50	200 *	100 KPH succión 75 Kg/m ²
* La carga muerta superpuesta incluye 100 Kg/m ² cielo suspendido debajo y/o equipo colgado. * * La carga de viento fue calculada según UBC - 94 método 2 (área proyectada)			

Parámetros de diseño sísmico

Coefficiente de reducción de carga sísmica (Ro): 2.5

Aceleración máxima efectiva (Ao): 0.35 g horizontal y 0.35 g vertical

Tipo de suelo: S2 (AGIES NR – 2: 2000)

Espectro de diseño sísmico: AGIES - S2

Secciones definidas

Vigas: 0.30 X 0.50 m, 0.30 X 0.40 m

Viga de cimentación: 0.80 X 0.80 m

Columnas circulares : diámetro Ø 1.00 m

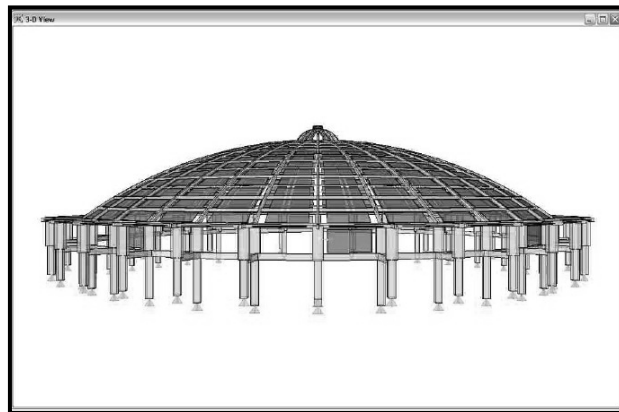
Pilotes: fuste Ø 0.90 m y campana Ø 1.50 m

Losas espesor: t = 0.10 m, t = 0.12 m y t = 0.15

Muros de concreto: espesor t = 0.30 m

Descripción de la estructura

Figura 33. Vista 3D modelo domo opción concreto programa SAP2000® V8



En el diseño del domo opción concreto tiene un arreglo circular de 32 ejes a cada 11.25 grados, posee 7 anillos de compresión, estos anillos ayudan a disminuir la carga muerta de la estructura al reducir el espesor de los paneles en la cubierta, dicho espesor varía de 0.15 m en el voladizo, 0.12 m en los primeros 5 paneles hasta un espesor de 0.10 m en los últimos 2 paneles (ver figura 45, plano S4 -DC).

La viga principal del domo opción concreto tiene una sección de 0.30 X 0.50 m y los anillos de compresión son de 0.30 X 0.40 m de sección (ver figura 45, plano S4 -DC).

La cubierta se apoya en 64 columnas circulares de 1 m de diámetro y 8 muros de concreto de 0.30 m de espesor (ver figura 42, plano S1-DC y figura 46, plano S5-DC).

La cimentación consiste en 2 pilotes de 0.9 m de fuste y 1.50 m de campana por eje, estos pilotes están unidos por medio de una viga de cimentación de 0.80 x 0.80 m de sección (ver figura 43, plano S2-DC y figura 44, plano S3-DC), su función es dar el anclaje y empotramiento que necesita la estructura.

6.1.2 Modelos del silo

6.1.2.1 Modelo de silo opción acero

MEMORIA DE CÁLCULO

Proyecto:	Silos opción acero
Programa utilizado:	ETABS® V8
Modelo:	Silo acero
Tipo de estructura:	No convencional
Número de niveles:	5
Tipos de apoyos:	Articulados

Materiales definidos

Concreto:	f 'c	245 Kg/cm ²
	f 'c	280 Kg/cm ²
Acero:	f y	4200 Kg/cm ²

Integración de cargas

Tabla XII. Integración de cargas de diseño silo opción acero

Estructura principal (chapa)	Carga viva vertical * Kg/m ²	Carga viva horizontal * Kg/m ²	VIENTO * *
Nivel 1	15643.00	3916.09	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 2	13393.00	3353.64	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 3	10279.00	2573.53	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 4	5976.09	1497.53	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 5	0.00	0.00	70 Kph presión 80 kg/m ²

* La carga viva fue calculada por el método Janssen
* * La carga de viento fue calculada según UBC - 94 método 2 (área proyectada).

Parámetros de diseño sísmico

Coefficiente de reducción de carga sísmica (Ro): 2

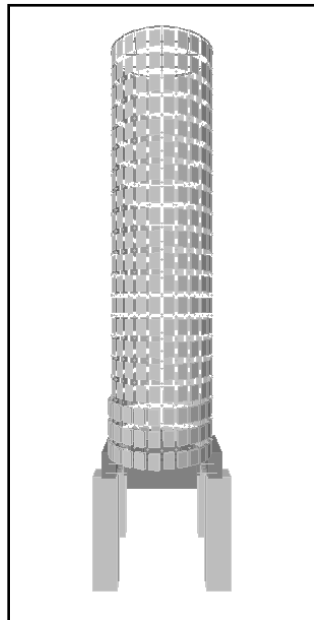
Aceleración máxima efectiva (Ao): 0.40 g horizontal y 0.40 g vertical

Tipo de suelo: S2 (AGIES NR – 2: 2000)

Espectro de diseño sísmico: AGIES - S2

Descripción de la estructura

Figura 34. Vista 3D modelo silo opción acero programa ETABS® V8



La estructura principal del silo opción acero está constituida por 24 muros de 0.20 x 0.65 m en los primeros 3 metro de altura; el cilindro de chapa metálica lisa de $\frac{1}{4}$ " se extiende por los siguientes 17 metros para alcanzar una altura de 20 metros desde el nivel de plataforma (ver figura 47, plano S0-SA); la cimentación está constituida por pilotes con fuste de 0.85 m unidos con soleras de amarre de 0.60 x 0.4 m (ver figura 48, plano S1-SA); las 4 columnas rectangulares que soportan la plataforma del silo son de 1.05 x 1.05 m (ver figura 49, plano S2-SA); las vigas son de dos diferentes secciones 0.60x0.90 m y de 0.60x1.20 m (ver detalle en figura 50, plano S3-SA); el detalle de la losa $t=0.15$ m y de la chapa metálica se observan en la figura 50, plano S3-SA.

6.1.2.2 Modelo de silo opción concreto

MEMORIA DE CÁLCULO

Proyecto: Silo opción concreto
 Programa utilizado: ETABS® V8
 Modelo: Silo concreto
 Tipo de estructura: No convencional
 Número de niveles: 5
 Tipos de apoyos: Articulados

Materiales definidos

Concreto: f 'c 245 Kg/cm²
 f 'c 280 Kg/cm²
 f 'c 350 Kg/cm²
 Acero: f y 4200 Kg/cm²

Integración de cargas

Tabla XIII. Integración de cargas de diseño silo opción concreto

Estructura principal (chapa)	Carga viva vertical *	Carga viva horizontal *	VIENTO **
Nivel 1	14933.00	3740.30	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 2	12711.35	3184.85	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 3	9681.15	2425.55	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 4	5575.25	1406.15	70 Kph presión 80 kg/m ²
Nivel 5	0.00	0.00	70 Kph presión 80 kg/m ²
* La carga viva fue calculada por el método Janssen			
** La carga de viento fue calculada según UBC - 94 método 2 (área proyectada),			

Parámetros de diseño sísmico

Coefficiente de reducción de carga sísmica (R_o): 2

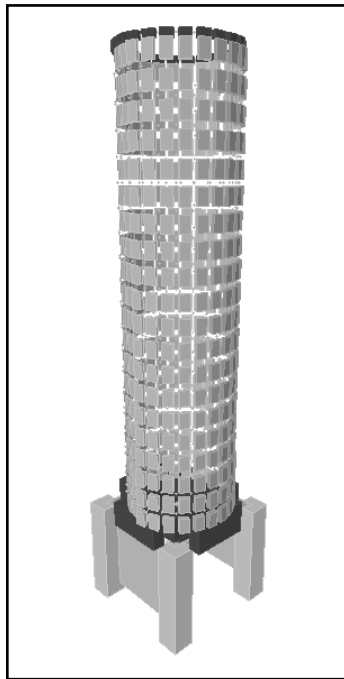
Aceleración máxima efectiva (A_o): 0.4 g horizontal y 0.4 g vertical

Tipo de suelo: S2 (AGIES NR – 2: 2000)

Espectro de diseño sísmico: AGIES - S2

Descripción de la estructura

Figura 35. Vista 3D modelo silo opción concreto programa ETABS® V8



La estructura principal del silo opción concreto está constituida por 24 muros de 0.25 x 0.65 m en los primeros 3 metros de altura y por 24 muros de 0.20 x 0.65 m por los siguientes 17 metros para alcanzar una altura de 20 metros desde el nivel de plataforma (ver figura 51, plano S0-SC); la cimentación está constituida por pilotes con fuste de 0.85 m unidos con soleras de amarre de 0.60 x 0.40 m (ver figura 52, plano S2-SC).

Las columnas de 1.05 x 1.05 m y los muros de $t = 0.5$ m que soportan la plataforma del silo se pueden ver en la figura 53, plano S2-SA; las vigas son de dos diferentes secciones 0.60x1.20 m y de 0.60x1.50 m (ver detalle en figura 54, plano S3-SC), el detalle de la losa $t = 0.15$ m y de los muros se observan en la figura 55, plano S4-SA.

6.2 Análisis de resultados

6.2.1 Resultados del domo

6.2.1.1 Resultados domo opción acero

Resultados del análisis estructural

Modelo: Domo acero

Peso de la estructura : $W = 1545$ Ton

Corte basal en X: $V_{N-S} = 249$ Ton a nivel de la base

Corte basal en Y: $V_{E-O} = 240$ Ton a nivel de la base

Períodos de vibración

Tabla XIV. Períodos de vibración domo opción acero

Modo de vibración	Tipo de movimiento	Período de vibración (seg.)
1	Traslación N - S	1.15
2	Traslación E - O	1.14
3	Torsión	1.01
4	Traslación N - S	0.81
5	Traslación E - O	0.79

Deformaciones

Tabla XV. Deformaciones horizontales globales máximas domo opción acero

Deformaciones horizontales globales máximas del domo opción acero				
Dirección	Deformación	Deformación máxima protección ordinaria	Deformación máxima protección superior	Protección lograda
N-S	0.88%	1.50%	1.20%	100% de superior
E-O	0.93%	1.50%	1.20%	100% de superior

Formato de tabla: Dr. Héctor Monzón Despang

6.2.1.2 Resultados domo opción concreto

Resultados del análisis estructural

Modelo: Domo concreto

Peso de la estructura: $W = 5265$ Ton

Corte basal en X: V N-S = 835 Ton a nivel de la base

Corte basal en Y: V E-O = 835 Ton a nivel de la base

Periodos de vibración

Tabla XVI. Períodos de vibración domo opción concreto

Modo de vibración	Tipo de movimiento	Período de vibración (seg.)
1	Traslación N - S	0.375
2	Traslación E - O	0.375
3	Torsión	0.284

Deformaciones

Tabla XVII. Deformaciones horizontales globales máximas domo opción concreto

Deformaciones horizontales globales máximas del domo opción concreto				
Dirección	Deformación	Deformación máxima protección ordinaria	Deformación máxima protección superior	Protección lograda
N-S	0.67%	1.50%	1.20%	100% de superior
E-O	0.67%	1.50%	1.20%	100% de superior

Formato de tabla: Dr. Héctor Monzón Despang

6.2.2 Resultados del silo

6.2.2.1 Resultados silo opción acero

Resultados del análisis estructural

Modelo: Silo acero

Peso de la estructura: $W = 230.00$ Ton

Corte basal en X: $V_{E-O} = 151.36$ Ton a nivel de la base

Corte basal en Y: $V_{N-S} = 151.36$ Ton a nivel de la base

Periodos de vibración

Tabla XVIII. Períodos de vibración silo opción acero

Modo de vibración	Tipo de movimiento	Período de vibración (seg.)
1	Traslación N-S	0.3061
2	Traslación E-O	0.3061

Deformaciones

Tabla XIX. Deformaciones horizontales globales máximas silo opción acero

Deformaciones horizontales globales máximas del silo opción acero				
Dirección	Deformación	Deformación máxima protección ordinaria	Deformación máxima protección superior	Protección lograda
N-S	0.15 %	1.50%	1.20%	100% de superior
E-O	0.15 %	1.50%	1.20%	100% de superior

Formato de tabla: Dr. Héctor Monzón Despang

6.2.2.2 Resultados del silo opción concreto

Resultados del análisis

Modelo: Silo concreto

Peso de la estructura: $W = 415.16$ Ton

Corte basal en X: $V_{E-O} = 291.72$ Ton

Corte basal en Y: $V_{N-S} = 202.84$ Ton

Periodos de vibración

Tabla XX. Períodos de vibración silo opción concreto

Modo de vibración	Tipo de movimiento	Período de vibración (seg.)
1	Traslación E-O	0.3650
2	Traslación N-S	0.2923

Deformaciones

Tabla XXI. Deformaciones horizontales globales máximas silo opción concreto

Deformaciones horizontales globales máximas del silo opción concreto				
Dirección	Deformación	Deformación máxima protección ordinaria	Deformación máxima protección superior	Protección lograda
N-S	0.20 %	1.50%	1.20%	100% de superior
E-O	0.13 %	1.50%	1.20%	100% de superior

Formato de tabla: Dr. Héctor Monzón Despang

6.3 Diseño de las estructuras no convencionales

6.3.1 Diseño del domo

6.3.1.1 Diseño de elementos críticos del domo opción acero

Elementos de acero

Las secciones utilizadas en la cubierta del domo se evalúan al realizar el diseño en acero por medio del programa SAP2000[®] V8 conforme al código AISC – LFRD 93, los resultados del diseño de acero para la cubierta del domo opción acero se encuentran en el apéndice 1, resultados para el diseño de elementos estructurales del domo opción acero.

Elementos de concreto

El refuerzo longitudinal y la relación A_v/s para el diseño por cortante es proporcionado por el programa SAP2000[®] V8 basado en el código ACI 318-99.

- Columna crítica \varnothing 0.75 m, ver detalle en figura 37
- Viga de cimentación crítica VC-1, ver detalle en figura 38
- Pilote crítico \varnothing 0.75 m, ver detalle en figura 39

6.3.1.2 Diseño de elementos críticos del domo opción concreto

El refuerzo longitudinal y la relación A_v/s para el diseño por cortante es proporcionado por el programa SAP2000[®] V8 basado en el código ACI 318-99, para cada elemento estructural los datos necesarios para el diseño de los elementos estructurales se encuentran en el apéndice 2 datos para diseño de elementos estructurales de concreto domo opción concreto.

- Columna crítica \varnothing 0.75 m, ver detalle en figura 42
- Viga de cimentación crítica VC-1, ver detalle en figura 43
- Viga crítica 0.30 X 0.50 m, ver detalle en figura 45
- Pilote crítico \varnothing 0.75 m, ver detalle en figura 44
- Losa crítica 0.15 m, 0.12 m y 0.10 m, ver detalle en figura 46
- Muro crítico $t=0.30$ m, ver detalle en figura 46

6.3.2 Diseño del silo

6.3.2.1 Diseño de elementos críticos del silo opción acero

Una de las limitantes que tiene el programa ETABS V8 es que no posee la capacidad de diseñar la chapa del silo, razón por la cual se realizó manualmente la revisión de ésta. Ver detalle en figura 50.

El refuerzo longitudinal y la relación A_v/s para el diseño por cortante es proporcionado por el programa ETABS[®] V8 basado en el código ACI 318-99, los datos necesarios para el diseño de los estructurales se encuentran en el apéndice 3 resultados silo opción acero.

- Columna crítica 1.05x1.05 m, ver detalle en figura 49
- Solera de amarre crítica SA-1, ver detalle en figura 48
- Viga crítica 0.60 X 0.90 m y 0.60x1.20 m, ver detalle en figura 50
- Pilote crítico \varnothing 0.85 m, ver detalle en figura 48
- Losa crítica $t=0.15$ m, ver detalle en figura 50
- Muro crítico $t=0.20$ m, ver detalle en figura 49

6.3.2.2 Diseño de elementos críticos del silo opción concreto

El refuerzo longitudinal y la relación A_v/s para el diseño por cortante es proporcionado por el programa ETABS[®] V8 basado en el código ACI 318-99, los datos necesarios para el diseño de los estructurales se encuentran en el apéndice 4, resultados silo opción concreto.

- Columna crítica 1.05x1.05 m, ver detalle en figura 53
- Solera de amarre crítica SA-1, ver detalle en figura 52
- Viga crítica 0.60 X 1.20 m y 0.60x1.50 m, ver detalle en figura 54
- Pilote crítico \varnothing 0.85 m, ver detalle en figura 52
- Losa crítica $t=0.15$ m, ver detalle en figura 54
- Muro crítico $t=0.25$ m y $t= 20$ m, ver detalle en figura 55

CONCLUSIONES

1. La guía presentada para la modelación de una estructura no convencional mediante el uso de los programas ETABS[®] V8, SAP2000[®] V8 y autoCAD[®] 2000 se adecua a las necesidades de diseño.
2. La guía presentada en este estudio es extensible a todo tipo de estructura.
3. La actualización de conocimientos de diseño de estructuras por medio de programas de computación se logra mediante el uso de los programas SAP2000[®] V8, ETABS[®] V8 para la modelación de las estructuras no convencionales.
4. El uso de los programas de estructuras ETABS[®] V8 , SAP2000[®] V8 y el de dibujo autoCAD[®] 2000 proporciona economía de tiempo, recursos humanos y financieros, al acelerar el proceso de diseño y presentación de estructuras.
5. La interacción entre los programas SAP2000[®] V8 - autoCAD[®] 2000, ETABS[®] V8 – autoCAD[®] 2000 se realiza mediante la importación y exportación de archivos en formato DXF.
6. La revisión, diseño y optimización de secciones de los elementos estructurales se realiza de una forma rápida, sencilla y eficiente.

7. Las limitantes que posee el programa SAP2000[®] V8 son no tener capacidad de diseñar losas y muros de concreto; las limitantes del programa ETABS[®] V8 son falta de capacidad de diseño de láminas metálicas y losas de concreto.

8. Los resultados del análisis estructural, así como el diseño de elementos de acero y de concreto son de un alto grado de precisión y confiabilidad, dado que los programas ETABS[®] V8 y SAP2000[®] V8 basan su diseño en códigos ampliamente conocidos en la Ingeniería.

RECOMENDACIONES

1. Realizar el diseño de vigas y columnas por separado con sus respectivas combinaciones de cargas.
2. Utilizar los diagramas de carga axial, corte y de momentos para revisar el refuerzo proporcionado por los programas de estructuras.
3. Para el diseño del refuerzo transversal de columnas debe revisarse el confinamiento.
4. Verificar la conectividad de cada elemento estructural.
5. Investigar la interacción entre los programas SAP2000[®] V8, ETABS[®] V8 y el programa SAFE[®] para el diseño de losas.

REFERENCIAS

1. *NEHRP 1985 – U.S. National Earthquake Hazard Reduction Program* auspiciado por *Federal Emergency Management Agency*.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica
AGIES NR – 2:2002 sección 3.3.3.2 pag. 10
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica
AGIES NR – 2:2002 sección 3.2.1 pag. 7
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica
AGIES NR – 2:2002 sección 3.3.2 pag 9
5. Joseph E. Bowles. *Foundation Analysis and Design*. (Singapore: Editorial McGraw Hill International Editions. 1988)
6. Juan Ravenet Catalán. *Silos* Teoría, investigación, construcción. (España: Editores técnicos asociados, 1977).

BIBLIOGRAFÍA

1. *American Institute of Steel Construction, inc. **Manual of steel construction***. 6^a ed. Estados Unidos de Norte América.
2. Bowles, Joseph E. ***Foundation Analysis and Design***. 4^a ed. (*Civil Engineering Series*) Singapur: Editorial McGraw Hill International Editions. 1988.
3. *Computers and Structures, Inc. **An Introduction to ETABS® (Tutorial) ETABS® version 8***. Estados Unidos de Norte América: s.e. 2002.
4. *Computers and Structures, Inc. **Analysis Reference Manual SAP2000® version 8***. Estados Unidos de Norte América:s.e. 20002.
5. *Computers and Structures, Inc. **Getting Started - Basic Analysis - Reference Introductory Tutorial SAP2000® version 8***. Estados Unidos de Norte América: s.e. 2002.
6. *Computers and Structures, Inc. **User Interfase Reference Manual ETABS® version 8***. Estados Unidos de Norte América: s.e. 2002.
7. Coronado Palma, Estuardo. **Descripción del uso de autoCAD 14 y su aplicación en la elaboración de plano de un inmueble**. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999.
8. Escobar Ortiz, Jorge. **Sistemas Estructurales en Arquitectura**. Tesis Arq. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 1973.
9. *International Conference Of Building Officials. **Uniform Building Code 1994***. 2^a ed. (*Structural Engineering Provisions, Volumen 2*) Estados Unidos de Norte América: s.e. 1994.

10. Ravenet Catalán, Juan. **Silos: Teoría, investigación, construcción.**
España: Editores técnicos asociados, 1977.

11. Rosales Hernández, Pedro Manolo. **Análisis y comparación de cargas en edificios.** Tesis Ing. Civil. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL DOMO OPCIÓN ACERO

PROGRAMA SAP2000® VERSIÓN 8

Steel design – Summary Data- AISC- LFRD93

Tabla XXII. Resultados de diseño de elementos de acero de la cubierta
domo opción acero

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Ratio Unitless</i>	<i>RatioType Text</i>	<i>Combo Text</i>
686	W24X94	Brace	No Messages	1.022	PMM	DISACERO
785	W24X94	Brace	No Messages	1.015	PMM	DISACERO
653	W24X94	Brace	No Messages	0.953	PMM	DISACERO
654	W24X94	Brace	No Messages	0.935	PMM	DISACERO

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
686	0	No Messages	No Messages
785	0	No Messages	No Messages
653	0	No Messages	No Messages
654	0	No Messages	No Messages

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Ratio Unitless</i>	<i>RatioType Text</i>	<i>Combo Text</i>
56	W24X76	Brace	No Messages	0.651	PMM	DISACERO
57	W24X76	Brace	No Messages	0.685	PMM	DISACERO
156	W24X76	Brace	No Messages	0.886	PMM	DISACERO
157	W24X76	Brace	No Messages	0.897	PMM	DISACERO

continuación tabla XXII.

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
56	300	No Messages	No Messages
57	300	No Messages	No Messages
156	300	No Messages	No Messages
157	300	No Messages	No Messages

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Ratio Unitless</i>	<i>RatioType Text</i>	<i>Combo Text</i>
728	WT12X34	Brace	No Messages	1.022	PMM	DISACERO
596	WT12X34	Brace	No Messages	0.876	PMM	DISACERO
530	WT12X34	Brace	No Messages	0.843	PMM	DISACERO
497	WT12X34	Brace	No Messages	0.695	PMM	DISACERO

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
728	0	No Messages	No Messages
596	0	No Messages	No Messages
530	0	No Messages	No Messages
497	0	No Messages	No Messages

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Ratio Unitless</i>	<i>RatioType Text</i>	<i>Combo Text</i>
170	P4	Brace	No Messages	0.457	PMM	DISACERO
269	P4	Brace	No Messages	0.475	PMM	DISACERO
236	P4	Brace	No Messages	0.362	PMM	DISACERO
203	P4	Brace	No Messages	0.358	PMM	DISACERO

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
170	0	No Messages	No Messages
269	0	No Messages	No Messages
236	0	No Messages	No Messages
203	0	No Messages	No Messages

continuación tabla XXII.

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Ratio Unitless</i>	<i>RatioType Text</i>	<i>Combo Text</i>
1280	P6	Brace	No Messages	0.660	PMM	DISACERO
1254	P6	Brace	No Messages	0.640	PMM	DISACERO
1276	P6	Brace	No Messages	0.550	PMM	DISACERO
1289	P6	Brace	No Messages	0.442	PMM	DISACERO

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
1280	0	No Messages	No Messages
1254	585	No Messages	No Messages
1276	0	No Messages	No Messages
1289	0	No Messages	No Messages

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Ratio Unitless</i>	<i>RatioType Text</i>	<i>Combo Text</i>
1386	P8	Brace	No Messages	0.469	PMM	DISACERO
1390	P8	Brace	No Messages	0.465	PMM	DISACERO
1394	P8	Brace	No Messages	0.460	PMM	DISACERO
1389	P8	Brace	No Messages	0.451	PMM	DISACERO

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
1386	900	No Messages	No Messages
1390	900	No Messages	No Messages
1394	900	No Messages	No Messages
1389	900	No Messages	No Messages

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Ratio Unitless</i>	<i>RatioType Text</i>	<i>Combo Text</i>
1242	P10	Beam	No Messages	0.856055	PMM	DISACERO
1220	P10	Beam	No Messages	0.841481	PMM	DISACERO
1210	P10	Beam	No Messages	0.802631	PMM	DISACERO
1192	P10	Beam	No Messages	0.796845	PMM	DISACERO

continuación tabla XXII.

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
1242	0	No Messages	No Messages
1220	420	No Messages	No Messages
1210	0	No Messages	No Messages
1192	250	No Messages	No Messages

DATOS PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO DEL DOMO OPCIÓN ACERO

Concrete design - Summary Data- ACI 318-99

Tabla XXIII. Datos para el diseño de columna crítica domo opción acero

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>DesignOpt Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>PMMCombo Text</i>
545	COL75	Column	Design	No Messages	0	COMCOL
545	COL75	Column	Design	No Messages	360	COMCOL

<i>Frame Text</i>	<i>Frame Text</i>	<i>PMMArea cm2</i>	<i>PMMRatio Unitless</i>	<i>Location cm</i>	<i>VMajCombo Text</i>
545	545	105.3392	105.3392	0	COMCOL
545	545	54.1744	54.1744	360	COMCOL

<i>Frame Text</i>	<i>V MajRebar cm2/cm</i>	<i>VMinCombo Text</i>	<i>V MinRebar cm2/cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
545	0	COMCOL	0.0628	No Messages	No Messages
545	0	COMCOL	0.0628	No Messages	No Messages

Tabla XXIV. Datos para el diseño de pilote crítico (L = 5 m) como opción acero

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>DesignOpt Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>
Todos	PILOTE75	Column	Design	No Messages	0
al 1%	PILOTE75	Column	Design	No Messages	500

<i>Frame Text</i>	<i>PMMCombo Text</i>	<i>PMMArea cm2</i>	<i>PMMRatio Unitless</i>	<i>Location cm</i>	<i>VMajCombo Text</i>
Todos	COMCOL	44.17	44.17	0	CONCOL
al 1%	COMCOL	44.17	44.17	500	CONCOL

<i>Frame Text</i>	<i>VMajRebar cm2/cm</i>	<i>VMinCombo Text</i>	<i>V MinRebar cm2/cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
Todos	0	COMCOL	0	No Messages	No Messages
al 1%	0	COMCOL	0	No Messages	No Messages

Tabla XXV. Datos para el diseño de pilote crítico (L=12 m) como opción acero

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>DesignOpt Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>
Todos	PILOTE75	Column	Design	No Messages	0
al 1%	PILOTE75	Column	Design	No Messages	1200

<i>Frame Text</i>	<i>PMMCombo Text</i>	<i>PMMArea cm2</i>	<i>PMMRatio Unitless</i>	<i>Location cm</i>	<i>VMajCombo Text</i>
Todos	COMCOL	44.17	44.17	0	COMCOL
al 1%	COMCOL	44.17	44.17	1200	COMCOL

<i>Frame Text</i>	<i>VMajRebar cm2/cm</i>	<i>VMinCombo Text</i>	<i>V MinRebar cm2/cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
Todos	0	COMCOL	0	No Messages	No Messages
al 1%	0	COMCOL	0	No Messages	No Messages

Tabla XXVI. Datos para diseño de viga de cimentación crítica
domo opción acero

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>FTopCombo Text</i>	<i>FTopArea cm2</i>
675	VC50X50	Beam	No Messages	0	REVER2	7.1624
675	VC50X50	Beam	No Messages	450	COMVIG	12.5763

<i>Frame Text</i>	<i>FBotCombo Text</i>	<i>FBotArea cm2</i>	<i>Location cm</i>	<i>VCombo Text</i>	<i>VRebar cm2/cm</i>
675	COMVIG	32.1899	0	REVER2	0
675	COMVIG	7.0307	450	COMVIG	0.0038

<i>Frame Text</i>	<i>TLngCombo Text</i>	<i>TLngArea cm2</i>	<i>TTrnCombo Text</i>	<i>TTrnRebar cm2/cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
675	SISMO2	8.8468	COMVIG	0.0217	No Messages	No Messages
675	SISMO2	8.8468	COMVIG	0.0217	No Messages	No Messages

APÉNDICE 2

RESULTADOS PARA DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL DOMO OPCIÓN CONCRETO

Programa SAP2000® version 8

Concrete Design - Summary Data - ACI 318-99

Tabla XXVII. Datos para el diseño de columna crítica domo opción concreto

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>DesignOpt Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>PMMCombo Text</i>
Todas	COL100	Column	Design	No Messages	0	CONMUER
al 1%	COL100	Column	Design	No Messages	400	CONMUER

<i>Frame Text</i>	<i>PMMArea cm2</i>	<i>PMMRatio Unitless</i>	<i>VMajCombo Text</i>	<i>VMajRebar cm2/cm</i>	<i>VMinCombo Text</i>	<i>VMinRebar cm2/cm</i>
Todas	78.5398	78.5398	SISMO4	0.0837	SISMO4	0.0837
al 1%	78.5398	78.5398	SISMO4	0.0837	SISMO4	0.0837

<i>Frame Text</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
Todas	No Messages	No Messages
al 1%	No Messages	No Messages

Tabla XXVIII. Datos para diseño de pilote crítico (L=5 m) domo opción
concreto

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>DesignOpt Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>PMMCombo Text</i>
47	PILOTE90	Column	Design	No Messages	0	CONMUER
47	PILOTE90	Column	Design	No Messages	500	SISMO4

continuación tabla XXVIII.

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>PMMArea cm2</i>	<i>PMMRatio Unitless</i>	<i>VMajCombo Text</i>	<i>VMajRebar cm2/cm</i>
47	0	63.6173	63.6173	CONMUER	0
47	500	87.9696	87.9696	CONMUER	0

<i>Frame Text</i>	<i>VMinCombo Text</i>	<i>VMinRebar cm2/cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
47	CONMUER	0	No Messages	No Messages
47	CONMUER	0	No Messages	No Messages

Tabla XXIX. Datos para diseño de pilote crítico (L=12 m) como opción concreto

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>DesignOpt Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>PMMCombo Text</i>
47	PILOTE90	Column	Design	No Messages	0	CONMUER
47	PILOTE90	Column	Design	No Messages	1200	SISMO4

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>PMMArea cm2</i>	<i>PMMRatio Unitless</i>	<i>VMajCombo Text</i>	<i>VMajRebar cm2/cm</i>
47	0	63.6173	63.6173	CONMUER	0
47	1200	87.9696	87.9696	CONMUER	0

<i>Frame Text</i>	<i>VMinCombo Text</i>	<i>VMinRebar cm2/cm</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
47	CONMUER	0	No Messages	No Messages
47	CONMUER	0	No Messages	No Messages

Tabla XXX. Datos para diseño de viga de cimentación crítica silo opción concreto

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>FTopCombo Text</i>	<i>FTopArea cm2</i>
180	VC80X80	Beam	No Messages	0	REVER2	12.8354
180	VC80X80	Beam	No Messages	450	COMVIG	67.6898

continuación tabla XXX.

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>FBotCombo Text</i>	<i>FBotArea cm2</i>	<i>VCombo Text</i>	<i>VRebar cm2/cm</i>
180	0	COMVIG	66.3779	COMVIG	0.1034
180	450	COMVIG	31.5442	COMVIG	0.1362

<i>Frame Text</i>	<i>TLngCombo Text</i>	<i>TLngArea cm2</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
180	COMVIG	20.4053	No Messages	No Messages
180	COMVIG	20.4053	No Messages	No Messages

Tabla XXXI. Datos para diseño de viga crítica 0.30x0.50 m como opción concreto

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>FTopCombo Text</i>	<i>FTopArea cm2</i>
186	VIG30X50	Beam	No Messages	0	REVER2	2.625
186	VIG30X50	Beam	No Messages	50	COMVIG	3.293
186	VIG30X50	Beam	No Messages	100	COMVIG	3.293
186	VIG30X50	Beam	No Messages	150	COMVIG	3.293
186	VIG30X50	Beam	No Messages	200	COMVIG	3.293
186	VIG30X50	Beam	No Messages	250	COMVIG	3.293
186	VIG30X50	Beam	No Messages	300	COMVIG	4.094
186	VIG30X50	Beam	No Messages	350	COMVIG	5.387
186	VIG30X50	Beam	No Messages	400	COMVIG	7.870
186	VIG30X50	Beam	No Messages	450	COMVIG	10.543

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>FBotCombo Text</i>	<i>FBotArea cm2</i>	<i>VCombo Text</i>	<i>VRebar cm2/cm</i>	<i>TLngCombo Text</i>
186	0	COMVIG	9.300	REVER2	0	REVER2
186	50	COMVIG	7.265	REVER2	0	REVER2
186	100	COMVIG	5.229	REVER2	0	REVER2
186	150	COMVIG	4.254	REVER2	0	REVER2
186	200	COMVIG	3.293	REVER2	0	REVER2
186	250	COMVIG	3.293	REVER2	0	REVER2
186	300	COMVIG	3.293	REVER2	0	REVER2
186	350	COMVIG	3.293	REVER2	0	REVER2
186	400	COMVIG	3.293	REVER2	0	REVER2
186	450	COMVIG	5.041	VIENTO2	0	REVER2

continuación tabla XXXI.

<i>Frame Text</i>	<i>TLngArea cm2</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages
186	5.849	No Messages	No Messages

Tabla XXXII. Datos para diseño de viga crítica (0.30x0.40 m) como opción concreto

<i>Frame Text</i>	<i>DesignSect Text</i>	<i>DesignType Text</i>	<i>Status Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>FTopCombo Text</i>	<i>FTopArea cm2</i>
631	VIG30X40	Beam	No Messages	0.00	COMVIG	3.477
631	VIG30X40	Beam	No Messages	48.46	COMVIG	3.415
631	VIG30X40	Beam	No Messages	96.93	COMVIG	2.709
631	VIG30X40	Beam	No Messages	145.39	COMVIG	1.896
631	VIG30X40	Beam	No Messages	193.86	COMVIG	1.179
631	VIG30X40	Beam	No Messages	242.32	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	290.78	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	339.25	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	387.71	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	436.18	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	484.64	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	533.10	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	581.57	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	630.03	COMVIG	1.133
631	VIG30X40	Beam	No Messages	678.50	COMVIG	1.193
631	VIG30X40	Beam	No Messages	726.96	COMVIG	1.912
631	VIG30X40	Beam	No Messages	775.42	COMVIG	2.726
631	VIG30X40	Beam	No Messages	823.89	COMVIG	3.415
631	VIG30X40	Beam	No Messages	872.35	COMVIG	3.492

continuación tabla XXXII.

<i>Frame Text</i>	<i>Location cm</i>	<i>FBotCombo Text</i>	<i>FBotArea cm2</i>	<i>VCombo Text</i>	<i>VRebar cm2/cm</i>	<i>TLngCombo Text</i>
631	0.00	COMVIG	2.277	CONMUER	0	CONMUER
631	48.46	COMVIG	1.133	CONMUER	0	CONMUER
631	96.93	COMVIG	1.133	CONMUER	0	CONMUER
631	145.39	REVER2	1.146	CONMUER	0	CONMUER
631	193.86	REVER2	1.218	CONMUER	0	CONMUER
631	242.32	COMVIG	1.358	CONMUER	0	CONMUER
631	290.78	COMVIG	1.415	CONMUER	0	CONMUER
631	339.25	COMVIG	1.386	CONMUER	0	CONMUER
631	387.71	COMVIG	1.272	CONMUER	0	CONMUER
631	436.18	CONMUER	1.273	CONMUER	0	CONMUER
631	484.64	COMVIG	1.278	CONMUER	0	CONMUER
631	533.10	COMVIG	1.391	CONMUER	0	CONMUER
631	581.57	COMVIG	1.418	CONMUER	0	CONMUER
631	630.03	COMVIG	1.360	CONMUER	0	CONMUER
631	678.50	REVER2	1.221	CONMUER	0	CONMUER
631	726.96	REVER2	1.149	CONMUER	0	CONMUER
631	775.42	COMVIG	1.133	CONMUER	0	CONMUER
631	823.89	COMVIG	1.133	CONMUER	0	CONMUER
631	872.35	COMVIG	2.286	CONMUER	0	CONMUER

continuación tabla XXXII.

<i>Frame Text</i>	<i>TLngArea cm2</i>	<i>ErrMsg Text</i>	<i>WarnMsg Text</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>
631	0	<i>No Messages</i>	<i>No Messages</i>

RESULTADOS PARA DISEÑO DE CUBIERTA DOMO OPCIÓN CONCRETO

Losas en 2 sentidos, método 3 ACI



Tabla XXXIII. Datos para diseño de losas 2 sentidos de la cubierta del domo opción concreto

Dimensiones			Cargas		Caso
la	lb	t	Muerta	Viva	
4.5	7.85	15	560	50	2
6	6.85	12	488	50	2
5.85	6	12	488	50	2
4.75	6	12	488	50	2
3.65	6	10	440	50	2

Bordes continuos lado corto		
Ma (-)	N 3@	N4@
2335.47	0.13	0.23
2530.22	0.08	0.15
2004.41	0.11	0.19
1823.7	0.12	0.21
1119.1	0.15	0.26

Abajo lado corto		
Ma (+)	N 3@	N4@
1019.59	0.24	0.43
1051.87	0.21	0.36
830.85	0.27	0.36
772.635	0.29	0.36
496.903	0.30	0.30

Bordes discontinuos lado corto		
Ma (-)	N 3@	N4@
339.863	0.24	0.43
350.623	0.33	0.36
276.951	0.33	0.36
257.545	0.33	0.36
165.634	0.30	0.30

Bordes continuos lado largo		
Mb (-)	N 3@	N4@
846.08	0.24	0.43
2033.71	0.11	0.19
1897.67	0.11	0.20
1138.6	0.20	0.35
522.65	0.30	0.30

Abajo lado largo		
Mb (+)	N 3@	N4@
354.14	0.24	0.43
801.42	0.28	0.36
786.61	0.29	0.36
482.234	0.33	0.36
236.232	0.30	0.30

Bordes discontinuos lado largo		
Mb (-)	N 3@	N4@
118.048	0.24	0.43
267.139	0.33	0.36
262.202	0.33	0.36
160.745	0.33	0.36
78.744	0.30	0.30

Losas en 1 sentido

Tabla XXXIV. Datos para diseño de losas 1 sentidos de la cubierta del domo opción concreto

Losa 1 sentido		t	Bordes cont lado corto			Abajo lado corto			Lado largo	N3@
la	lb		M(-)	N3@	N4@	M(+)	N3@	N4@		
2.5	9	10	312.5	0.20		438	0.30		As por temperatura	0.30
3	7.35	12	493		0.20	798	0.20			0.20
3	7.85	12	691	0.20		798	0.20		0.002 b t	0.20
1.5	8.75	15	980	0.20		Min N3@ 0.35, usado @ 0.20				0.20

RESULTADOS PARA DISEÑO DE MURO ESTRUCTURAL DOMO OPCIÓN CONCRETO

Muro estructural t = 0.30 m

Tabla XXXV. Datos para diseño de muro estructural domo opción concreto

Dimensiones			Reacciones			As/Ag propuesto
L (m)	t (m)	h (m)	Pu (Ton)	Vu (Ton)	Mu (Ton-m)	
7.85	0.3	4	80	2	300	0.01

Elementos de borde				Cortina	
Lb req (m)	tb req (m)	As (dis) (cm ²)	Av/s (dis) (cm ² /cm)	Ah/s (cm ² /m)	Av/s (cm ² /m)
1.18	0.3	35.33	0.15	4.5	7.5

APÉNDICE 3

Resultados para diseño de elementos estructurales del silo opción acero

Programa ETABS[®] versión 8

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE COLUMNAS

Concrete column design output (ACI 318-99)

Biaxial p-m interection and shear design of column type elements

Tabla XXXVI. Datos para diseño de columna crítica silo opción acero

<i>STORY ID</i>	<i>COLUMN LINE</i>	<i>SECTION ID</i>	<i>STATION ID</i>	<i>LONGITUDINAL cm²</i>
STORY1	C1	COL105X105	0	110.25
STORY1	C1	COL105X105	190	152.322
STORY1	C1	COL105X105	380	263.313

<i>STORY ID</i>	<i>COLUMN LINE</i>	<i>REQUIRED REINFORCING</i>				
		<i>COMBO</i>	<i>SHEAR22</i>	<i>COMBO</i>	<i>SHEAR33</i>	<i>COMBO</i>
STORY1	C1	COMCOL	0.537	COMCOL	0.520	COMCOL
STORY1	C1	COMCOL	0.536	COMCOL	0.516	COMCOL
STORY1	C1	COMCOL	0.534	COMCOL	0.513	COMCOL

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE VIGAS

Concrete beam design output (ACI 318-99)

Flexural and shear design of beam type elements

Tabla XXXVII. Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 1.20 m)
silo opción acero

STORY ID	BEAM BAY	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING	
				TOP	COMBO
STORY1	B1	VIG60X120	32.99	35.90	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	33.49	35.72	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	33.49	35.72	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	73.22	23.02	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	73.22	23.02	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	125.00	14.11	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	125.00	14.26	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	166.67	11.47	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	208.33	11.47	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	250.00	11.47	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	250.00	11.47	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	291.67	11.47	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	333.33	11.47	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	375.00	14.26	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	375.00	14.11	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	426.78	23.02	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	426.78	23.02	REVER2
STORY1	B1	VIG60X120	466.51	35.72	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	466.51	35.72	COMVIG
STORY1	B1	VIG60X120	467.01	35.90	COMVIG

continuación tabla XXXVII.

BEAM BAY	STATION ID	REQUIRED REINFORCING			
		BOTTOM	COMBO	SHEAR	COMBO
B1	32.99	32.77	REVER2	0.30	COMVIG
B1	33.49	32.66	REVER2	0.30	COMVIG
B1	33.49	32.66	REVER2	0.30	COMVIG
B1	73.22	24.46	COMVIG	0.30	COMVIG
B1	73.22	24.46	COMVIG	0.30	COMVIG
B1	125.00	22.70	COMVIG	0.30	COMVIG
B1	125.00	22.70	COMVIG	0.24	COMVIG
B1	166.67	19.79	COMVIG	0.24	COMVIG
B1	208.33	17.80	COMVIG	0.24	COMVIG
B1	250.00	18.37	COMVIG	0.23	COMVIG
B1	250.00	18.37	COMVIG	0.23	COMVIG
B1	291.67	17.80	COMVIG	0.24	COMVIG
B1	333.33	19.79	COMVIG	0.24	COMVIG
B1	375.00	22.70	COMVIG	0.24	COMVIG
B1	375.00	22.70	COMVIG	0.30	COMVIG
B1	426.78	24.46	COMVIG	0.30	COMVIG
B1	426.78	24.46	COMVIG	0.30	COMVIG
B1	466.51	32.66	REVER2	0.30	COMVIG
B1	466.51	32.66	REVER2	0.30	COMVIG
B1	467.01	32.77	REVER2	0.30	COMVIG

Tabla XXXVIII. Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 0.90 m) silo
opción acero

STORY ID	BEAM BAY	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING	
				TOP	COMBO
STORY1	B2	VIG60X90	0	11.189	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	33.494	5.299	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	33.494	5.139	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	73.223	4.544	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	73.223	4.544	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	125	3.996	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	125	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	166.667	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	208.333	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	250	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	250	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	291.667	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	333.333	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	375	2.761	COMVIG
STORY1	B2	VIG60X90	375	3.996	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	426.777	4.544	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	426.777	4.544	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	466.506	5.139	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	466.506	5.299	REVER2
STORY1	B2	VIG60X90	500	11.189	COMVIG

continuación tabla XXXVIII.

BEAM BAY	STATION ID	REQUIRED REINFORCING			
		BOTTOM	COMBO	SHEAR	COMBO
B2	0	9.431	REVER2	0.173	COMVIG
B2	33.494	7.692	COMVIG	0.172	COMVIG
B2	33.494	7.519	COMVIG	0.069	REVER2
B2	73.223	8.187	COMVIG	0.067	REVER2
B2	73.223	8.187	COMVIG	0.066	REVER2
B2	125	8.915	COMVIG	0.065	REVER2
B2	125	7.599	COMVIG	0.065	REVER2
B2	166.667	7.588	COMVIG	0.063	REVER2
B2	208.333	7.572	COMVIG	0.061	REVER2
B2	250	7.583	COMVIG	0.059	REVER2
B2	250	7.583	COMVIG	0.059	REVER2
B2	291.667	7.572	COMVIG	0.061	REVER2
B2	333.333	7.588	COMVIG	0.063	REVER2
B2	375	7.599	COMVIG	0.065	REVER2
B2	375	8.915	COMVIG	0.065	REVER2
B2	426.777	8.187	COMVIG	0.066	REVER2
B2	426.777	8.187	COMVIG	0.067	REVER2
B2	466.506	7.519	COMVIG	0.069	REVER2
B2	466.506	7.692	COMVIG	0.172	COMVIG
B2	500	9.431	REVER2	0.173	COMVIG

Resultados del analisis estructural

Reacciones en la base para diseño de cimentación con pilotes

Tabla XXXIX. Reacciones para diseño de cimentación silo opción acero

<i>Story</i>	<i>Point</i>	<i>Load</i>	FZ (ton)
BASE	C1-C4	ULTIMA	109.14
BASE	C1-C4	COMVIG MAX	267.43
BASE	C1-C4	COMVIG MIN	-106.72
BASE	C1-C4	CIMENTA	57.34

P servicio = 57.34 Ton = 57340 kg

P cedencia = 267.43 Ton = 267430 kg

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE SOLERA DE AMARRE

Concrete beam design output (ACI 318-99)

Flexural and shear design of beam type elements

Tabla XL. Datos para diseño de solera de amarre silo opción acero

STORY ID	BEAM BAY	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING	
				TOP	COMBO
BASE	B1	SA-1	0	20.542	COMVIG
BASE	B1	SA-1	55.556	14.957	COMVIG
BASE	B1	SA-1	111.111	9.975	COMVIG
BASE	B1	SA-1	166.667	6.026	REVER2
BASE	B1	SA-1	222.222	6.026	REVER2
BASE	B1	SA-1	277.778	6.026	REVER2
BASE	B1	SA-1	333.333	6.026	REVER2
BASE	B1	SA-1	388.889	9.975	COMVIG
BASE	B1	SA-1	444.444	14.957	COMVIG
BASE	B1	SA-1	500	20.542	COMVIG

STORY ID	BEAM BAY	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING			
				BOTTOM	COMBO	SHEAR	COMBO
BASE	B1	SA-1	0	17.592	REVER2	0.113	COMVIG
BASE	B1	SA-1	55.556	13.688	REVER2	0.11	COMVIG
BASE	B1	SA-1	111.111	9.834	REVER2	0.106	COMVIG
BASE	B1	SA-1	166.667	6.058	COMVIG	0.102	COMVIG
BASE	B1	SA-1	222.222	6.026	REVER2	0.099	COMVIG
BASE	B1	SA-1	277.778	6.026	REVER2	0.099	COMVIG
BASE	B1	SA-1	333.333	6.058	COMVIG	0.102	COMVIG
BASE	B1	SA-1	388.889	9.835	REVER2	0.106	COMVIG
BASE	B1	SA-1	444.444	13.688	REVER2	0.11	COMVIG
BASE	B1	SA-1	500	17.592	REVER2	0.113	COMVIG

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE MUROS

Summary output data simplified pier section design (ACI 318-99)

Tabla XLI. Datos para diseño de muro silo opción acero

Story Label	Pier Label	Station Location	Edge Memb Left	Edge Memb Right
STORY4	PW2	Top	20	20
STORY4	PW2	Bottom	20	20
STORY3	PW2	Top	20	20
STORY3	PW2	Bottom	20	20
STORY2	PW2	Top	20	20
STORY2	PW2	Bottom	20	20

Story Label	Pier Label	Station Location	As Left cm²	As Right cm²	Av Shear cm²/m	B-Zone Length
STORY4	PW2	Top	2.425	2.32	5	Not Needed
STORY4	PW2	Bottom	2.557	2.629	5	Not Needed
STORY3	PW2	Top	3.136	3.132	5	Not Needed
STORY3	PW2	Bottom	3.308	3.448	5	Not Needed
STORY2	PW2	Top	4.895	5.976	7.364	Not Needed
STORY2	PW2	Bottom	8.877	6.122	8.829	9.789

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE LOSA $t = 0.15 \text{ m}$

Resultados para el diseño de losa $t = 0.15 \text{ m}$ de la plataforma del silo opción acero, mediante el metodo 3 ACI.

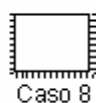
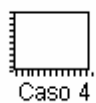


Tabla XLII. Datos para diseño de losa silo opción acero

Dimensiones			Cargas		Caso
La	Lb	t	Muerta	Viva	
1.25	1.25	15	360	6000	4
1.25	2.5	15	360	6000	8
2.5	2.5	15	360	6000	2

Bordes continuos lado corto		
Ma (-)	N 3@	N4@
875.63	0.24	0.43
1558.61	0.20	0.35
3152.25	0.09	0.17

Abajo lado corto		
Ma (+)	N 3@	N4@
552.53	0.24	0.43
1299.45	0.24	0.42
1834.65	0.16	0.29

Bordes discontinuos lado corto		
Ma (-)	N 3@	N4@
184.175	0.24	0.43
433.15	0.24	0.43
611.55	0.24	0.43

Bordes continuos lado largo		
Mb (-)	N 3@	N4@
875.63	0.24	0.43
980.70	0.24	0.43
3152.25	0.09	0.17

Abajo lado largo		
Mb (+)	N 3@	N4@
552.53	0.24	0.43
477.75	0.24	0.43
1834.65	0.16	0.29

Bordes discontinuos lado largo		
Mb (-)	N 3@	N4@
184.175	0.24	0.43
159.25	0.24	0.43
611.55	0.24	0.43

APÉNDICE 4

Resultados para diseño de elementos estructurales silo opción concreto

Programa ETABS[®] versión 8

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE COLUMNAS 1.05x 1.05 m

Concrete column design output (ACI 318-99)

Biaxial p-m interection and shear design of column type elements

Tabla XLIII. Datos para diseño de columna crítica silo opción concreto

STORY ID	COLUMN LINE	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING	
				LONGITUDINAL	COMBO
STORY1	C1	COL105X105	0	110.25	COMCOL
STORY1	C1	COL105X105	175	182.256	COMCOL
STORY1	C1	COL105X105	350	278.738	COMCOL

STORY ID	COLUMN LINE	REQUIRED REINFORCING			
		SHEAR22	COMBO	SHEAR33	COMBO
STORY1	C1	0.621	COMCOL	0.621	COMCOL
STORY1	C1	0.619	COMCOL	0.619	COMCOL
STORY1	C1	0.617	COMCOL	0.617	COMCOL

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE VIGAS

Concrete beam design output (ACI 318-99)

Flexural and shear design of beam type elements

Tabla XLIV. Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 1.20 m) silo opción concreto

STORY ID	BEAM BAY	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING					
				TOP	COMBO	BOTTOM	COMBO	SHEAR	COMBO
STORY1	B7	VIG60X120	0	11.55	COMVIG	9.94	REVER2	0.37	COMVIG
STORY1	B7	VIG60X120	33.49	7.37	REVER2	11.98	COMVIG	0.37	COMVIG
STORY1	B7	VIG60X120	33.49	8.09	REVER2	12.47	COMVIG	0.08	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	79.25	7.54	REVER2	13.69	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	125.00	7.11	REVER2	14.77	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	125.00	6.37	REVER2	13.40	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	166.67	6.03	REVER2	13.65	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	208.33	5.81	REVER2	13.81	COMVIG	0.06	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	250.00	5.72	REVER2	13.88	COMVIG	0.06	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	250.00	5.72	REVER2	13.88	COMVIG	0.06	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	291.67	5.81	REVER2	13.81	COMVIG	0.06	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	333.33	6.03	REVER2	13.65	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	375.00	6.37	REVER2	13.40	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	375.00	7.11	REVER2	14.77	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	420.75	7.54	REVER2	13.69	COMVIG	0.07	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	466.51	8.09	REVER2	12.47	COMVIG	0.08	REVER2
STORY1	B7	VIG60X120	466.51	7.37	REVER2	11.98	COMVIG	0.37	COMVIG
STORY1	B7	VIG60X120	500.00	11.55	COMVIG	9.94	REVER2	0.37	COMVIG

Tabla XLV. Datos para diseño de viga crítica (0.60 X 1.50 m) silo opción concreto

STORY ID	BEAM BAY	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING					
				TOP	COMBO	BOTTOM	COMBO	SHEAR	COMBO
STORY1	B10	VIG60X150	52.5	42.85	REVER2	43.333	COMVIG	0.37	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	88.75	31.87	REVER2	33.982	COMVIG	0.368	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	125	29.86	REVER2	31.874	REVER2	0.366	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	125	28.16	REVER2	31.874	REVER2	0.335	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	166.667	24.14	REVER2	31.874	COMVIG	0.333	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	208.333	22.99	REVER2	31.874	COMVIG	0.331	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	250	24.94	REVER2	31.874	REVER2	0.328	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	250	24.94	REVER2	31.874	REVER2	0.328	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	291.667	22.99	REVER2	31.874	COMVIG	0.331	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	333.333	24.14	REVER2	31.874	COMVIG	0.333	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	375	28.16	REVER2	31.874	REVER2	0.335	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	375	29.86	REVER2	31.874	REVER2	0.366	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	411.25	31.87	REVER2	33.982	COMVIG	0.368	COMVIG
STORY1	B10	VIG60X150	447.5	42.85	REVER2	43.333	COMVIG	0.37	COMVIG

RESULTADOS PARA DISEÑO DE PILOTES

Tabla XLVI. Reacciones para diseño de cimentación silo opción concreto

Story	Point	Load	FZ (Ton)
BASE	C1-C4	ULTIMA	172.59
BASE	C1-C4	COMVIG MAX	580.88
BASE	C1-C4	COMVIG MIN	-309.95
BASE	C1-C4	CIMENTA	103.79

P servicio = 103.79 ton = 103790 kg

P cedencia = 580.88 Ton = 580880 kg

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE SOLERA DE AMARRE 0.60x0.4 m

Concrete beam design output (ACI 318-99)

Flexural and shear design of beam type elements

Tabla XLVII. Datos de diseño de solera de amarre silo opción concreto

STORY ID	BEAM BAY	SECTION ID	STATION ID	REQUIRED REINFORCING					
				TOP	COMBO	BOTTOM	COMBO	SHEAR	COMBO
BASE	B6	SA-1	0	28.23	COMVIG	25.05	REVER2	0.14	COMVIG
BASE	B6	SA-1	55.556	20.36	COMVIG	19.10	REVER2	0.14	COMVIG
BASE	B6	SA-1	111.111	13.52	COMVIG	13.47	REVER2	0.14	COMVIG
BASE	B6	SA-1	166.667	7.56	REVER2	8.20	COMVIG	0.13	COMVIG
BASE	B6	SA-1	222.222	6.15	COMVIG	6.15	COMVIG	0.13	COMVIG
BASE	B6	SA-1	277.778	6.15	COMVIG	6.15	COMVIG	0.13	COMVIG
BASE	B6	SA-1	333.333	7.56	REVER2	8.20	COMVIG	0.13	COMVIG
BASE	B6	SA-1	388.889	13.52	COMVIG	13.47	REVER2	0.14	COMVIG
BASE	B6	SA-1	444.444	20.36	COMVIG	19.10	REVER2	0.14	COMVIG
BASE	B6	SA-1	500	28.23	COMVIG	25.05	REVER2	0.14	COMVIG

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE MUROS

Summary output data simplified pier section design (ACI 318-99)

Tabla XLVIII. Datos de diseño de muro estructural (t=0.50 m) silo opción concreto

Story Label	Pier Label	Station Location	Edge Memb Left	Edge Memb Right	As Left cm ²	As Right cm ²
STORY1	PW25	Top	50	50	43.82	43.82
STORY1	PW25	Bottom	50	50	57.45	57.45
STORY1	PW26	Top	50	50	43.82	43.82
STORY1	PW26	Bottom	50	50	57.45	57.45

continuación tabla XLVIII.

<i>Story Label</i>	<i>Pier Label</i>	<i>Av Shear cm²/m</i>	<i>B-Zone Length</i>
STORY1	PW25	12.50	<i>Not Needed</i>
STORY1	PW25	12.50	<i>Not Needed</i>
STORY1	PW26	12.50	<i>Not Needed</i>
STORY1	PW26	12.50	<i>Not Needed</i>

Pared del silo opción concreto

Tabla XLIX. Datos de diseño de pared (muro t=0.25 m) silo opción concreto

<i>Story Label</i>	<i>Pier Label</i>	<i>Station Location</i>	<i>Edge Memb Left</i>	<i>Edge Memb Right</i>	<i>As Left cm²</i>	<i>As Right cm²</i>	<i>Av Shear cm²/m</i>	<i>B-Zone Length</i>
STORY4	PW1	Top	25	25	9.845	9.577	6.25	9.789
STORY4	PW1	Bottom	25	25	10.785	11.205	7.932	9.789
STORY3	PW1	Top	25	25	11.452	11.085	10.783	9.789
STORY3	PW1	Bottom	25	25	12.987	13.252	11.682	9.789
STORY2	PW1	Top	25	25	14.871	12.068	26.515	10.634
STORY2	PW1	Bottom	25	25	15.677	22.51	26.515	10.261

Tabla L. Datos de diseño de pared (muro t=0.20 m) silo opción concreto

<i>Story Label</i>	<i>Pier Label</i>	<i>Station Location</i>	<i>Edge Memb Left</i>	<i>Edge Memb Right</i>	<i>As Left cm²</i>	<i>As Right cm²</i>	<i>Av Shear cm²/m</i>	<i>B-Zone Length</i>
STORY5	PW1	Top	20	20	8.633	8.443	9.681	10.854
STORY5	PW1	Bottom	20	20	9.268	9.544	9.4	10.78

RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE LOSA $t = 0.15$ m

Resultados para el diseño de losa $t = 0.15$ m de la plataforma del silo opción concreto mediante el metodo 3 ACI.

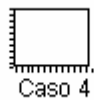


Tabla LI. Datos de diseño de losa ($t=0.15$ m) silo opción concreto

Dimensiones			Cargas		Caso
La	Lb	t	Muerta	Viva	
1.25	1.25	15	360	6500	4
1.25	2.5	15	360	6500	8
2.5	2.5	15	360	6500	2

Bordes continuos lado corto		
Ma (-)	N 3@	N4@
942.03	0.24	0.43
1676.82	0.18	0.32
3391.31	0.09	0.15

Abajo lado corto		
Ma (+)	N 3@	N4@
595.03	0.24	0.43
1400.39	0.22	0.39
1978.09	0.15	0.27

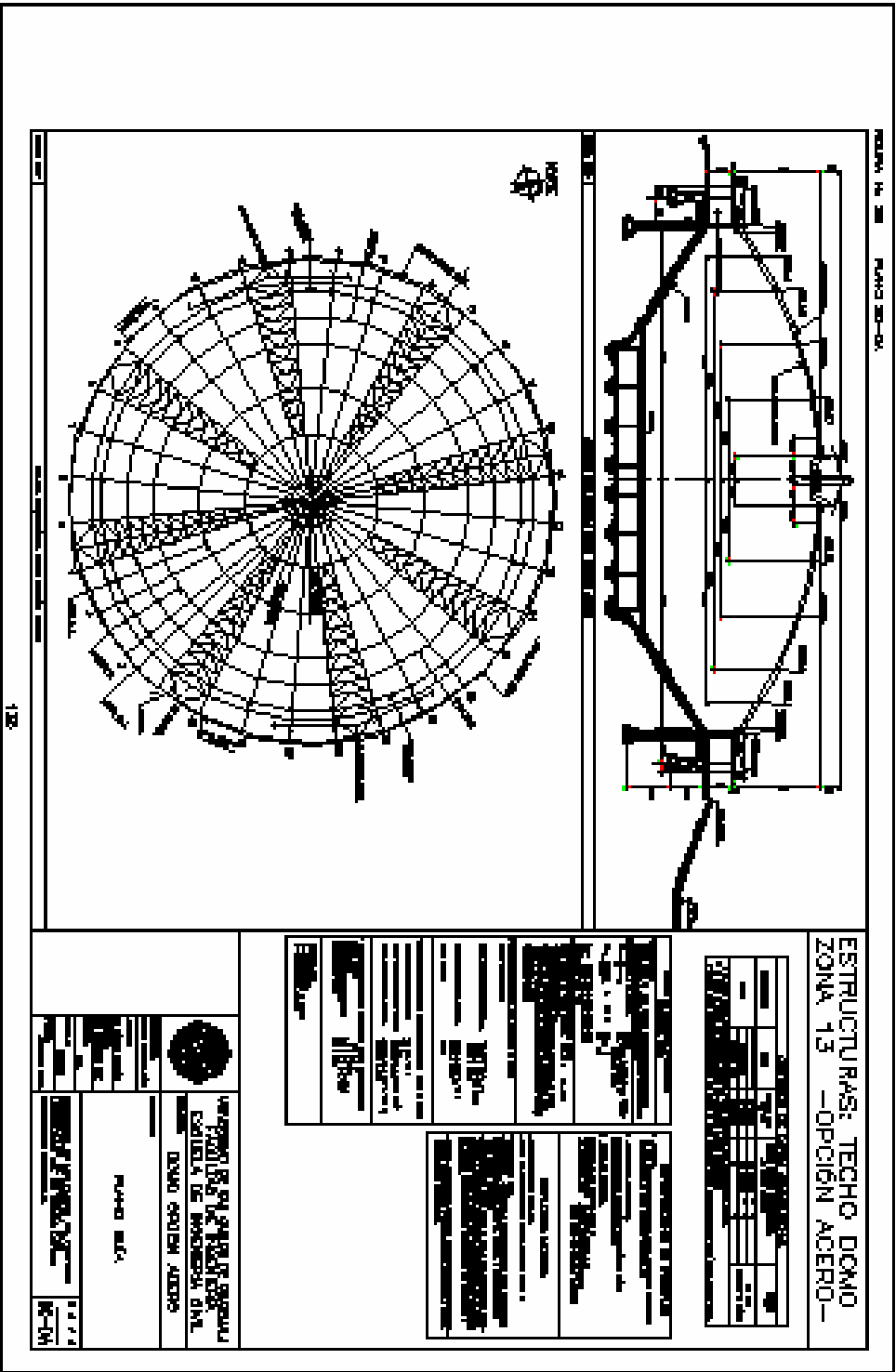
Bordes discontinuos lado corto		
Ma (-)	N 3@	N4@
198.342	0.24	0.43
466.796	0.24	0.43
659.363	0.24	0.43

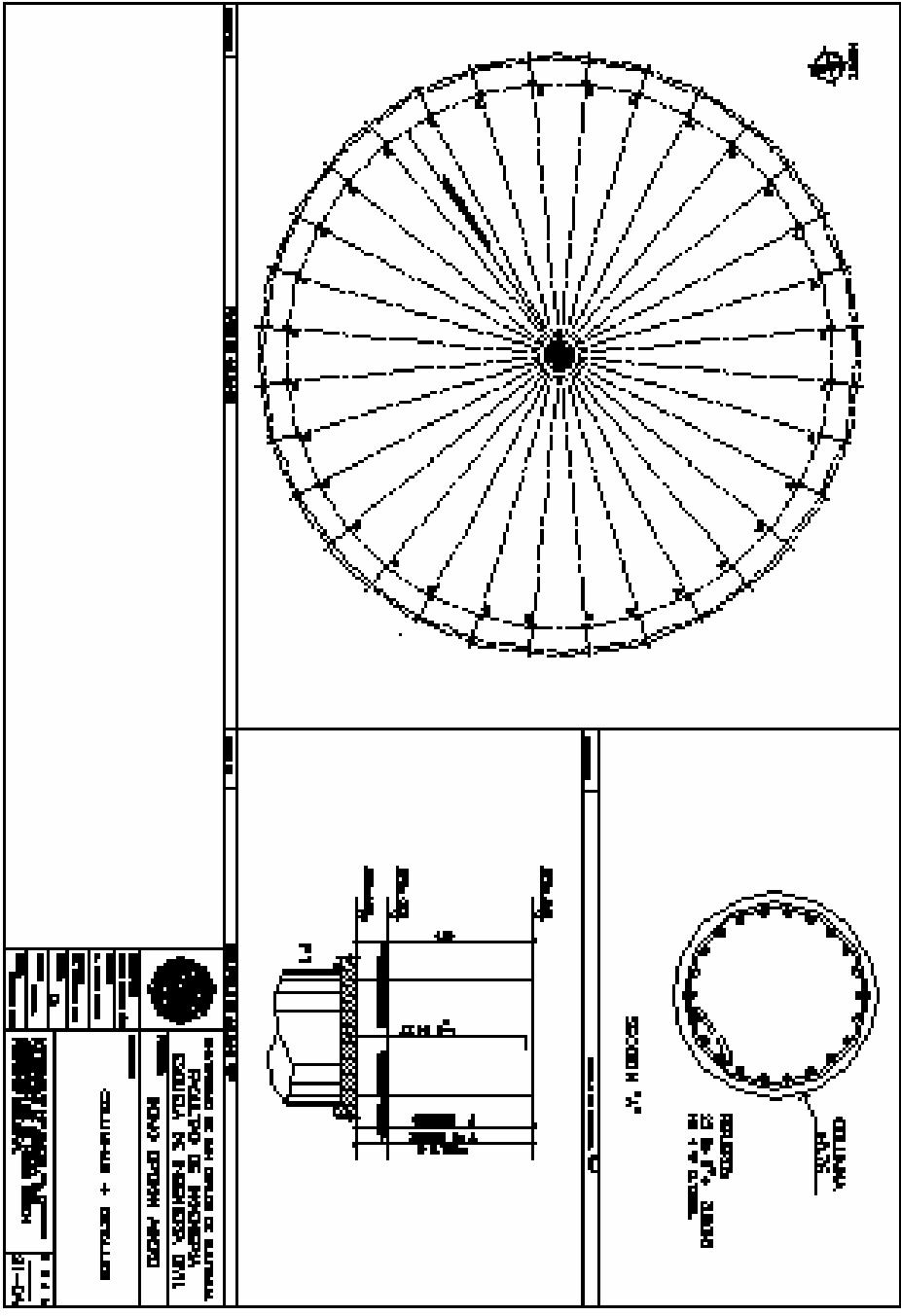
Bordes continuos lado largo		
Mb (-)	N 3@	N4@
942.03	0.24	0.43
1055.08	0.24	0.43
3391.31	0.09	0.15

Abajo lado largo		
Mb (+)	N 3@	N4@
595.03	0.24	0.43
514.94	0.24	0.43
1978.09	0.15	0.27

Bordes discontinuos lado largo		
Mb (-)	N 3@	N4@
198.342	0.24	0.43
171.646	0.24	0.43
659.363	0.24	0.43

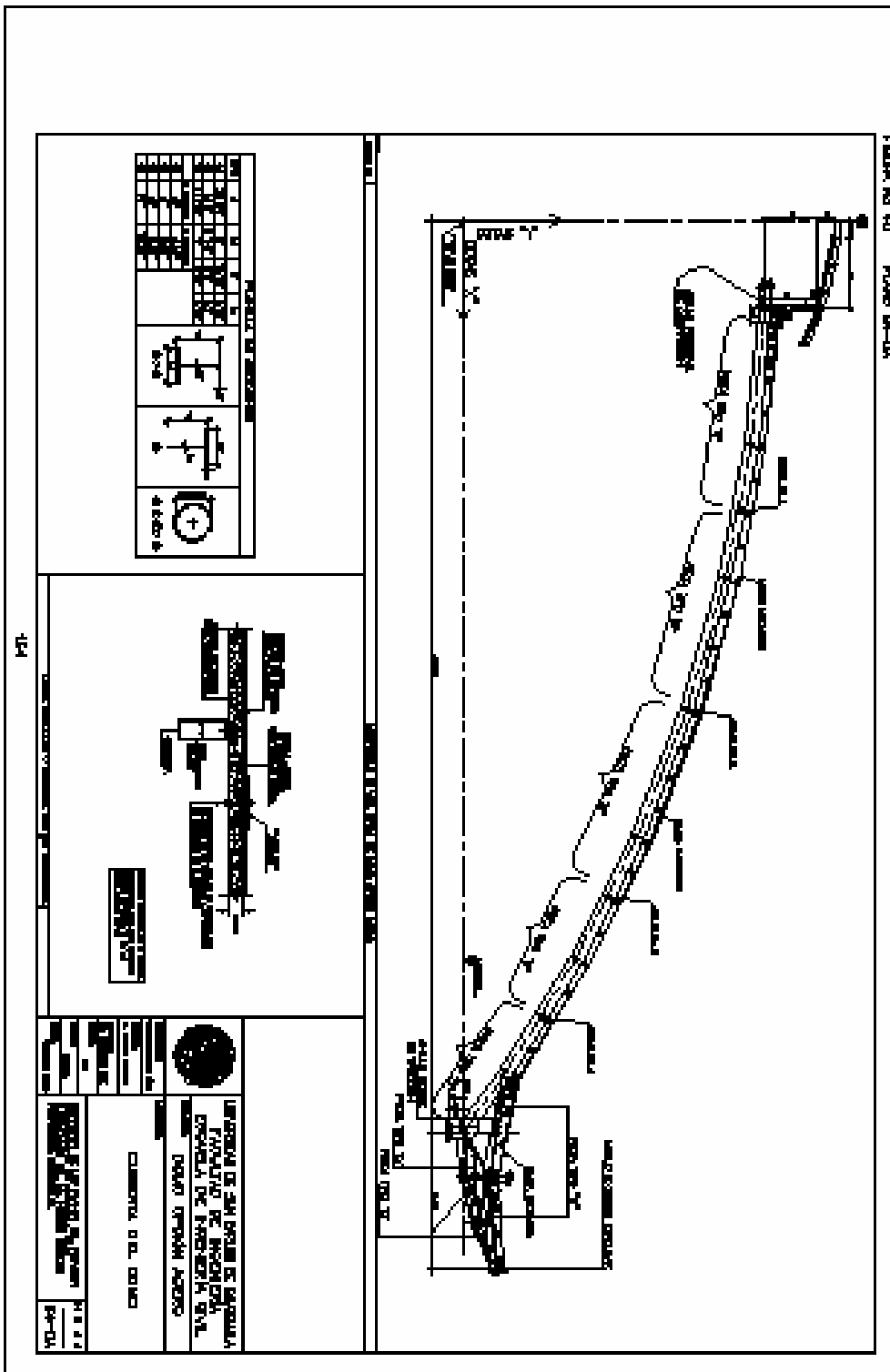
PLANOS
DOMO OPCIÓN ACERO



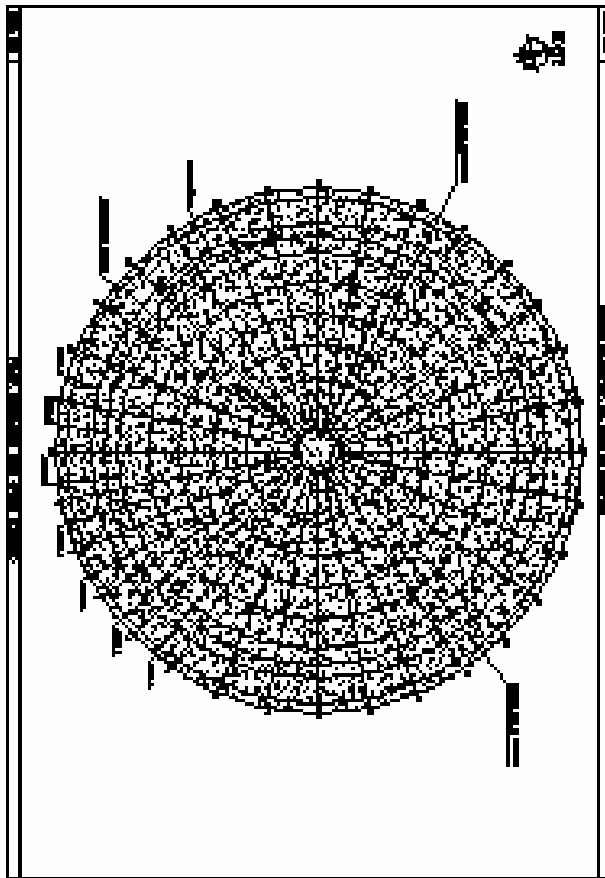
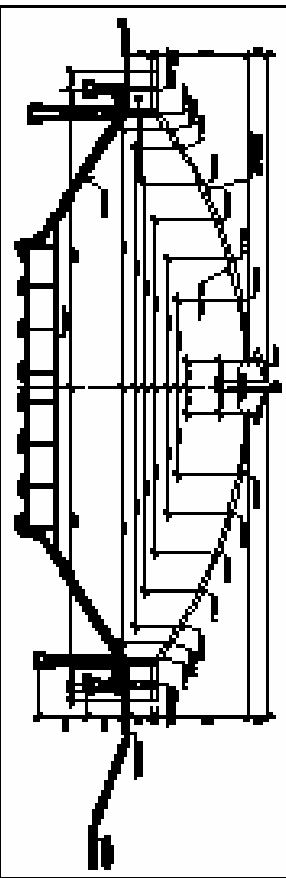


GENERAL AND SITE PLAN 11-20

10-15
 10-16
 10-17
 10-18
 10-19
 10-20
 10-21
 10-22
 10-23
 10-24
 10-25
 10-26
 10-27
 10-28
 10-29
 10-30
 10-31
 10-32
 10-33
 10-34
 10-35
 10-36
 10-37
 10-38
 10-39
 10-40
 10-41
 10-42
 10-43
 10-44
 10-45
 10-46
 10-47
 10-48
 10-49
 10-50
 10-51
 10-52
 10-53
 10-54
 10-55
 10-56
 10-57
 10-58
 10-59
 10-60
 10-61
 10-62
 10-63
 10-64
 10-65
 10-66
 10-67
 10-68
 10-69
 10-70
 10-71
 10-72
 10-73
 10-74
 10-75
 10-76
 10-77
 10-78
 10-79
 10-80
 10-81
 10-82
 10-83
 10-84
 10-85
 10-86
 10-87
 10-88
 10-89
 10-90
 10-91
 10-92
 10-93
 10-94
 10-95
 10-96
 10-97
 10-98
 10-99
 10-100



PLANOS
DOMO OPCIÓN CONCRETO



ESTRUCTURAS: TECHO DOMO
-OPCIÓN CONCRETO-

NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...

NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...

NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...

NO.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...

INSTITUTO DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 TÍTULO: DISEÑO DE UN DOME

PLANO 00-05

FECHA: 2010-05-05
 ESCALA: 1:100

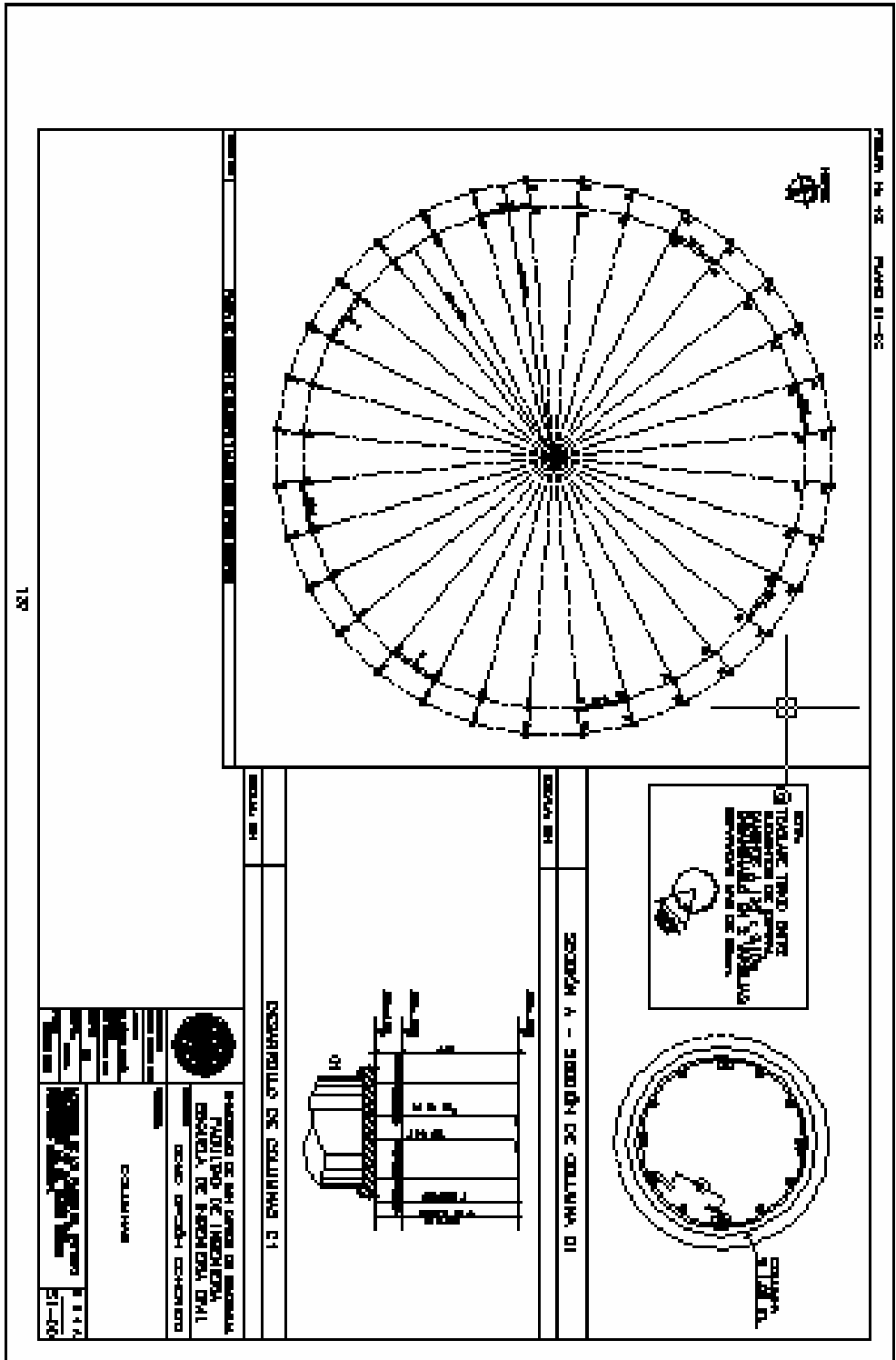
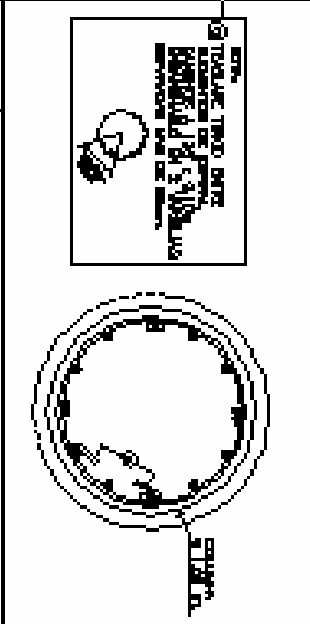
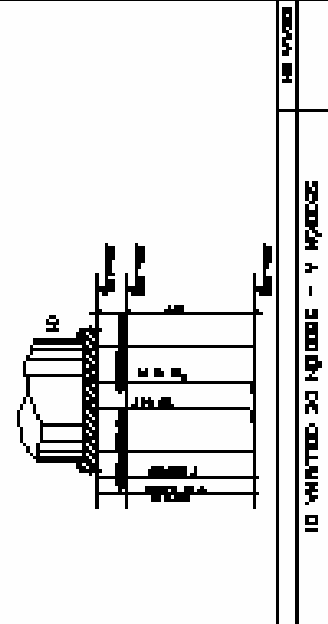
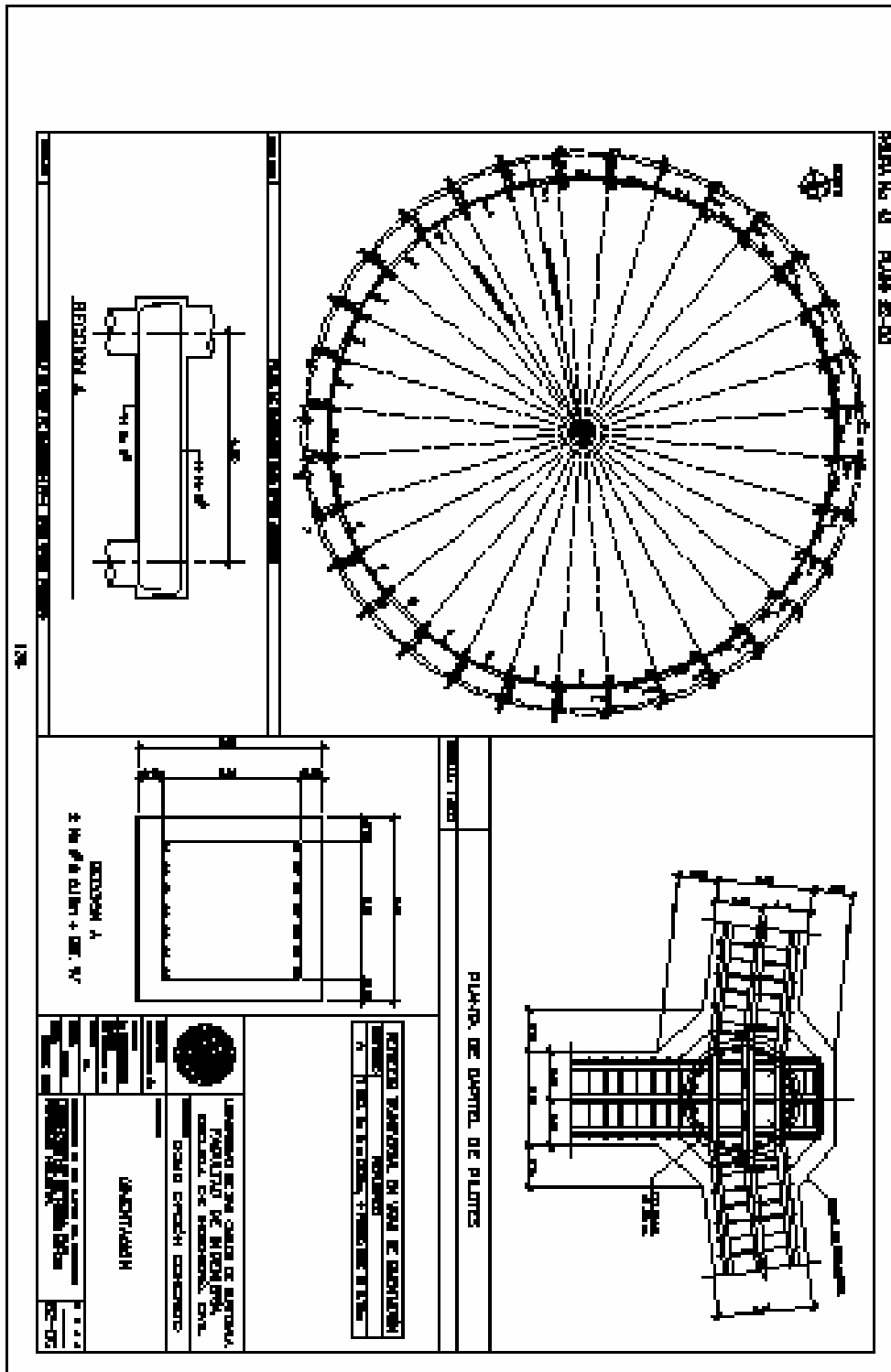


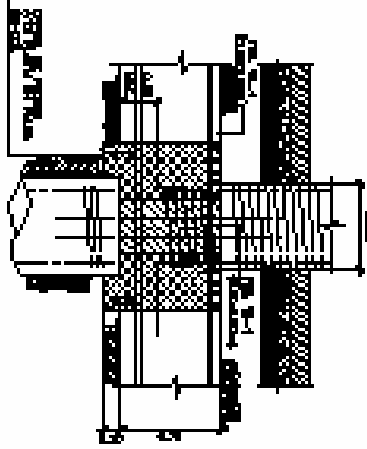
FIGURA 14 - 42 - PAVIMENTO II-3C

<p>PROGETTO DI UN'OPERA DI RISTRUTTURAZIONE E RINNOVO DI UN EDIFICIO DESTINATO A SCUOLA PRIMARIA DI 10 CLASSI IN UN'AREA URBANA CENTRATA.</p>	
<p>PROGETTO ARCHITETTURA E STRUTTURE</p>	<p>PROGETTO ARCHITETTURA E STRUTTURE</p>

1.3. DIMENSIONI DEI COMPONENTI





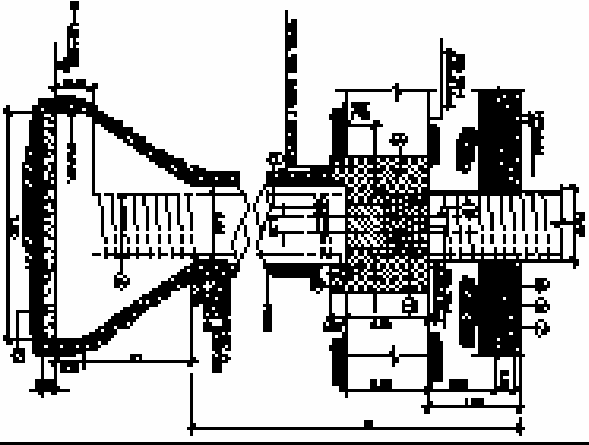


DETALLE DE CANTAL DE PAVES P1 Y P2

ESCALA: 1/10

PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS

NUMERO DE FILTRO	TIPO DE FILTRO	ANCHO (cm)	LONGITUD (cm)	AREA (cm ²)
P1	1.00	100	100	10000
P2	1.00	100	100	10000
P3	1.00	100	100	10000
P4	1.00	100	100	10000
P5	1.00	100	100	10000



DETALLE DE FILTROS P1 Y P2

ESCALA: 1/10

REFERENCIAS:

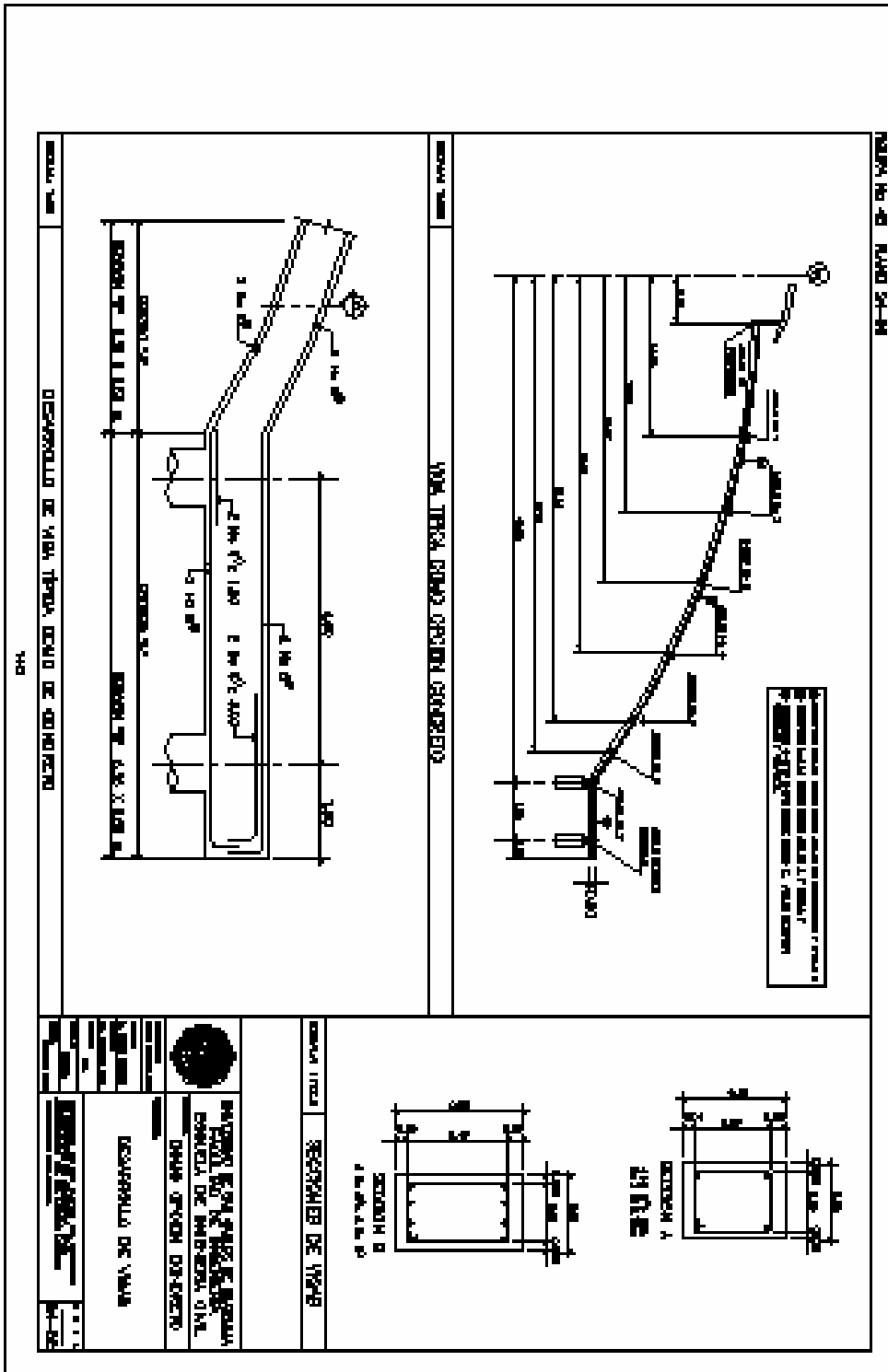
- 1. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 2. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 3. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 4. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 5. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 6. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 7. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 8. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 9. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS
- 10. PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS

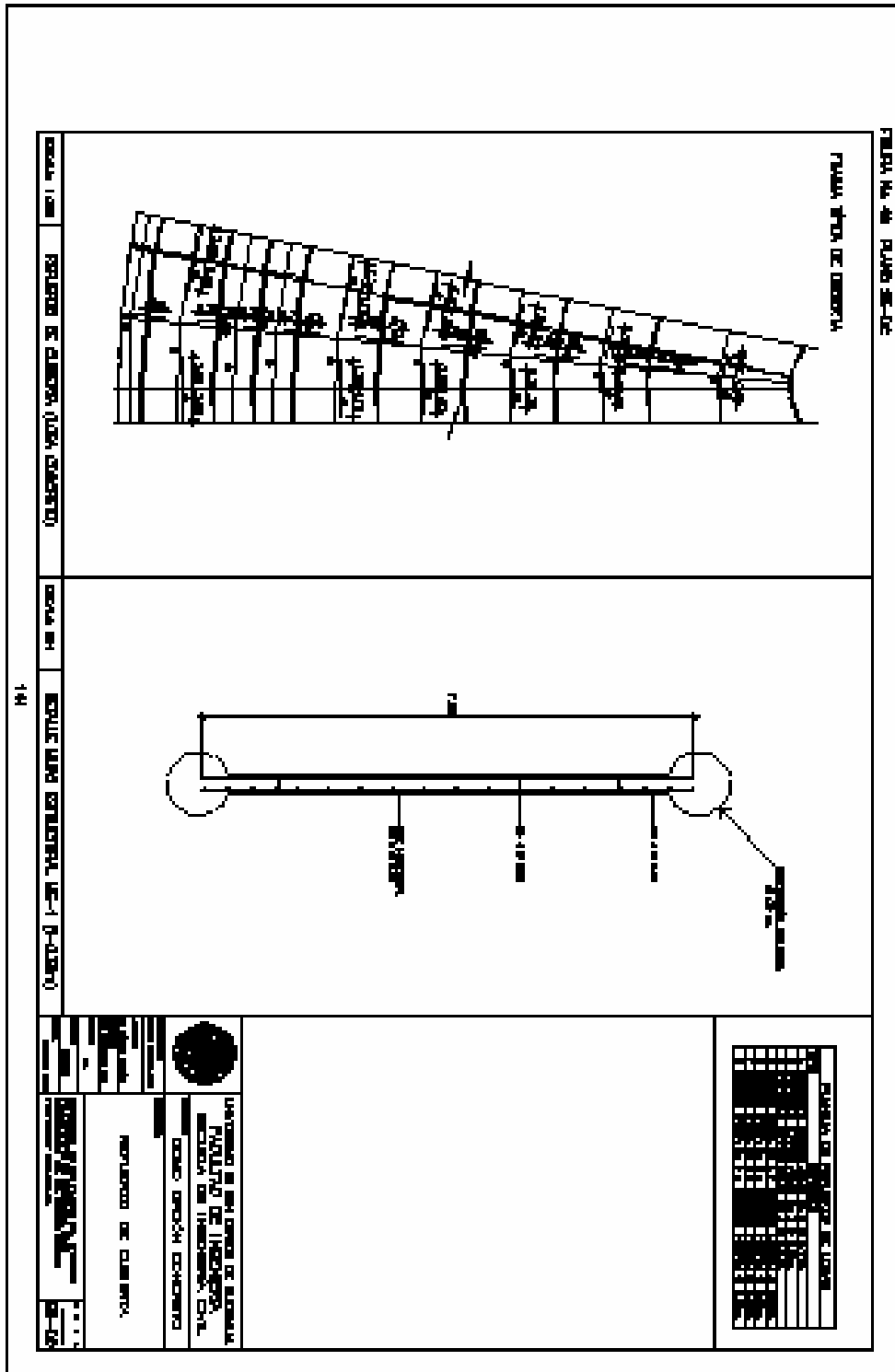
EXPLICACIONES:

- 1. FILTRO HOMOGENEO
- 2. FILTRO HOMOGENEO
- 3. FILTRO HOMOGENEO
- 4. FILTRO HOMOGENEO
- 5. FILTRO HOMOGENEO
- 6. FILTRO HOMOGENEO
- 7. FILTRO HOMOGENEO
- 8. FILTRO HOMOGENEO
- 9. FILTRO HOMOGENEO
- 10. FILTRO HOMOGENEO

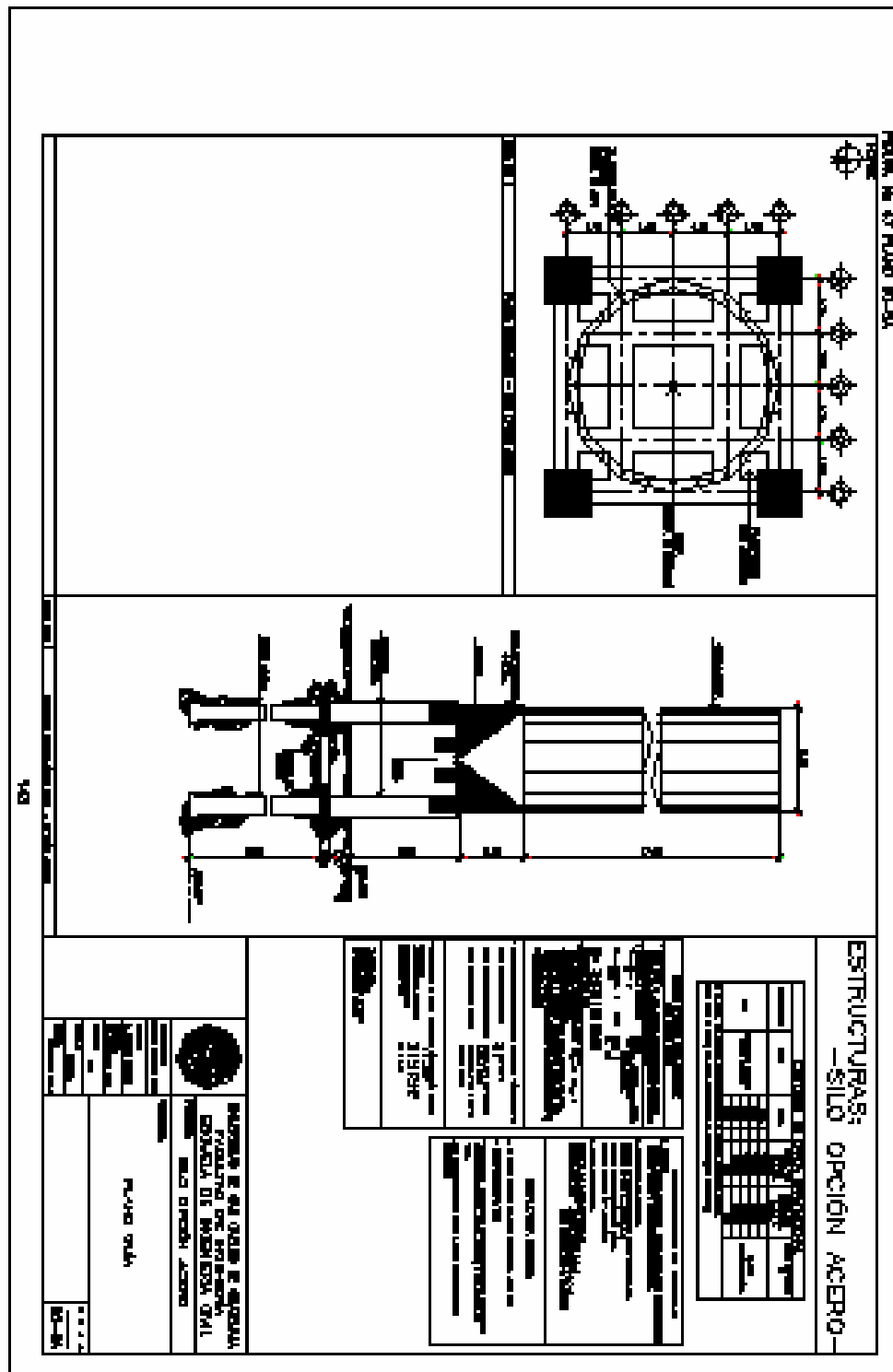
NOTA: VER PLANILLA DE FILTROS HOMOGENEOS PARA DETALLE DE FILTROS HOMOGENEOS.

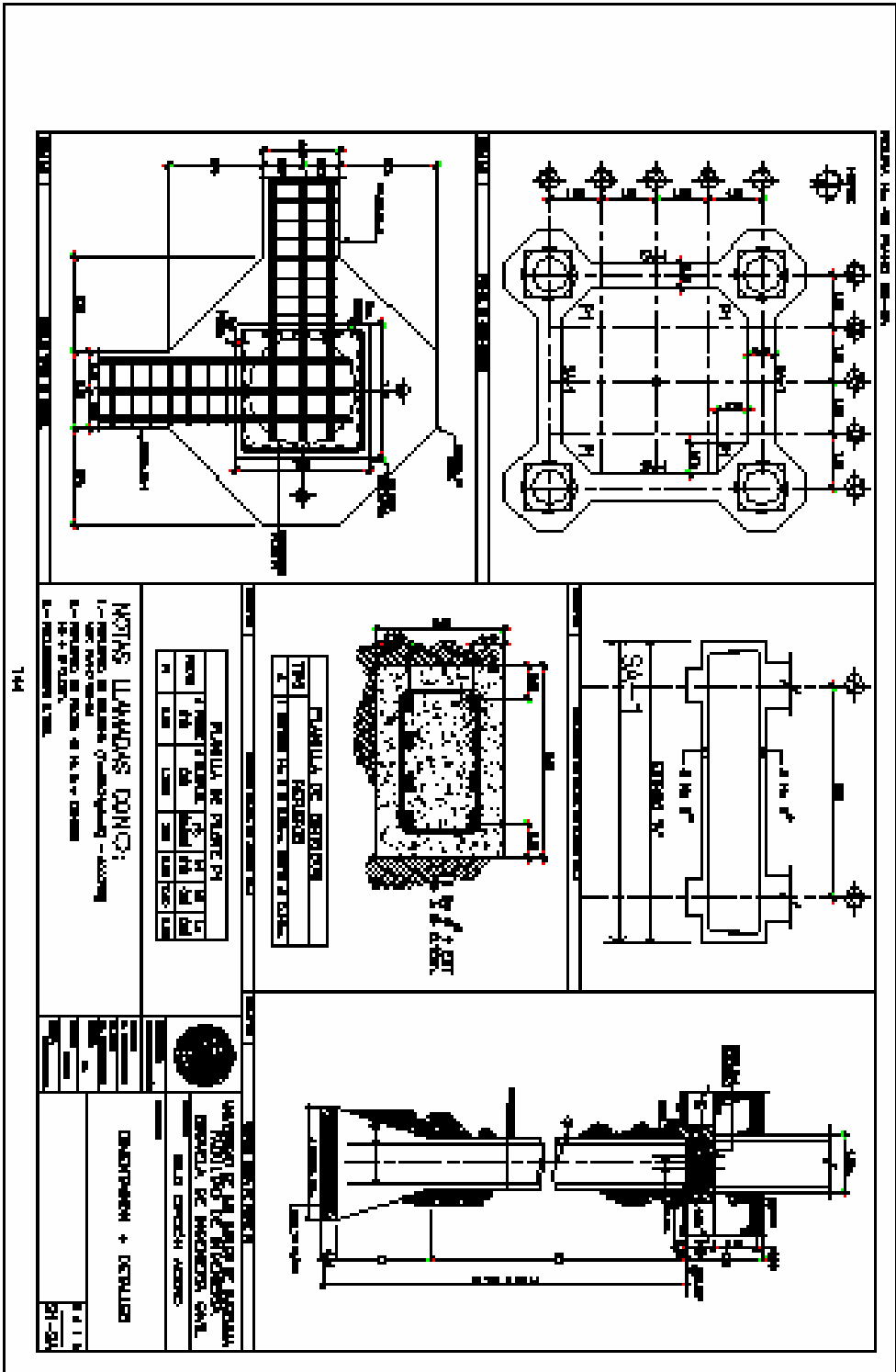
	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL GRUPO PROYECTO: CONCRETO	GUATEMALA PILOTOS	N.º 1
			05-20





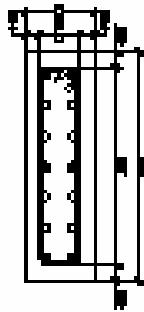
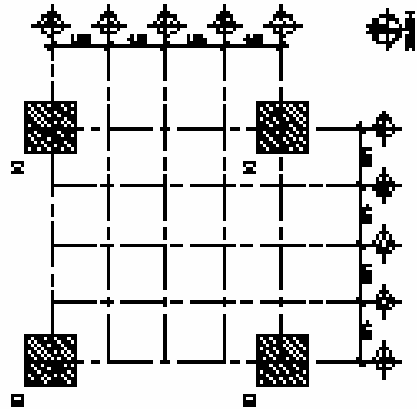
PLANOS
SILO OPCIÓN ACERO





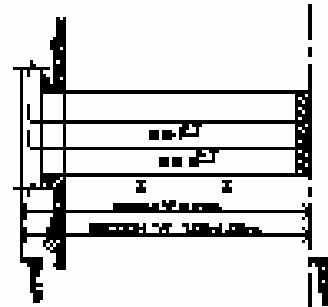
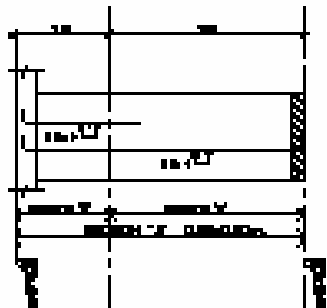
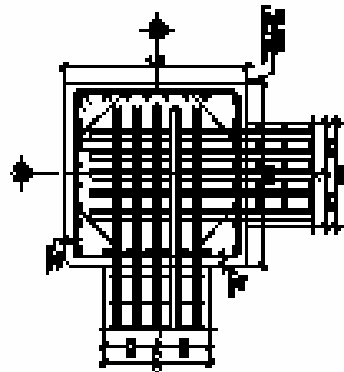
144

PROYECTO DE PLANOS 2018-2019



SECCION Nº 002 x 1.20 m

PLANTILLA DE REPARTICIÓN			
NO.	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN
1	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN
2	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN
3	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN	REPARTICIÓN



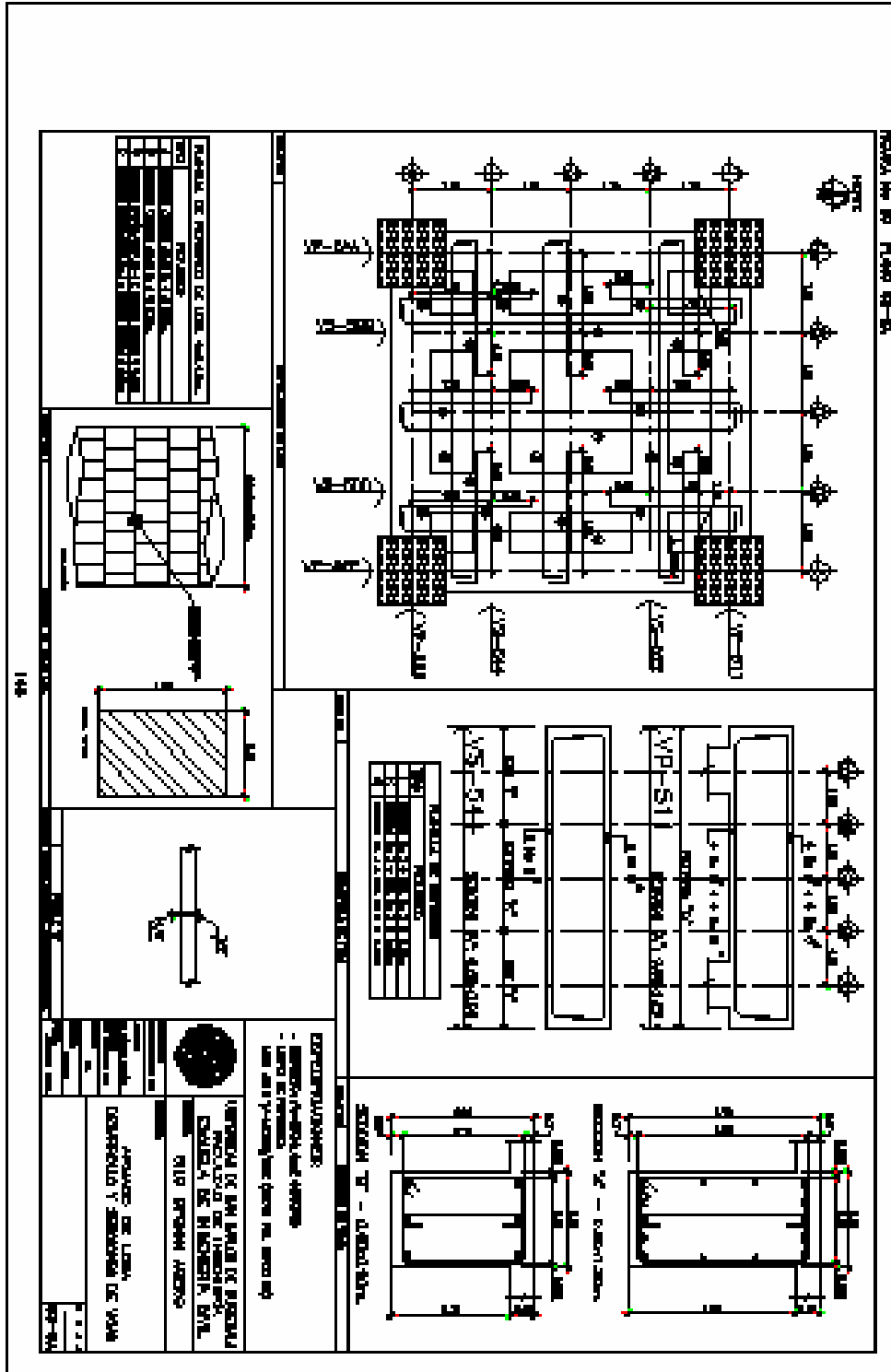
PLANTILLA DE REPARTICIÓN	
NO.	REPARTICIÓN
1	REPARTICIÓN
2	REPARTICIÓN
3	REPARTICIÓN

ESPECIFICACIONES

- Todas las medidas son en metros.
- Todas las superficies son en metros cuadrados.
- Todas las alturas son en metros.

UNIFORMES DE LAS CANTAS DE ALUMINUM
 PROYECTO DE REPARTICIÓN
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
 SANTIAGO DE LOS CABALLEROS

PROYECTO + ALIADO EMPRESARIAL	FECHA
	2018



PLANOS
SILO OPCIÓN CONCRETO

