



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

“PROPUESTA ESTRUCTURAL DE REHABILITACIÓN DEL TEMPLO SAN FELIPE”



**TRABAJO PRÁCTICO PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CON
SALIDA EN SEGURIDAD ESTRUCTURAL**

ING. ALBERTO PALACIOS TISCAREÑO

TUTOR: DR. EN ARQ. GERARDO ARAIZA GARAYGORDOVI

Aguascalientes, Ags. Marzo de 2009.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

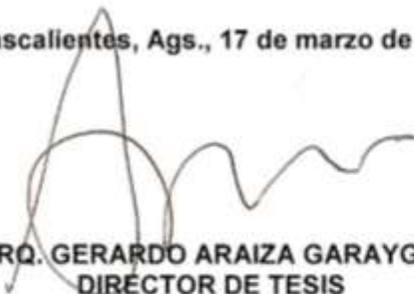
**M. EN A. MARIO ANDRADE CERVANTES
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO
Y DE LA CONSTRUCCION
P R E S E N T E.**

Por medio del presente le informo que el Ing. Alberto Palacios Tiscareño, ha concluido el Trabajo Práctico que lleva por nombre "**Propuesta Estructural de Rehabilitación del Templo San Felipe**", de acuerdo a los objetivos y contenidos planteados para su autorización y en cuyo trabajo fungí como asesor, por lo que he autorizado al sustentante realizar la impresión final del documento así como los trámites pertinentes para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con salida terminal en Seguridad Estructural, por la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Aguascalientes, Ags., 17 de marzo de 2009.



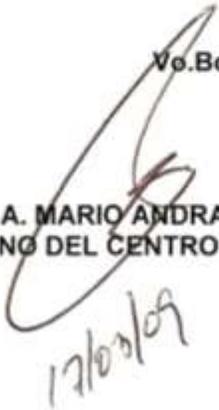
**DR. EN ARQ. GERARDO ARAIZA GARAYGORDOBIL
DIRECTOR DE TESIS**

Vo.Bo.



**M. EN VAL. JUAN JAVIER AMADOR
ROMO DE VIVAR
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
CONSTRUCCION Y ESTRUCTURAS**

Vo.Bo.



**M. EN A. MARIO ANDRADE CERVANTES
DECANO DEL CENTRO**

17/03/09

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**
Centro de Ciencias del
Diseño y de la Construcción



Oficio No. DC-D-374-08
Asunto: Autorización de tema de Trabajo practico

**ING. ALBERTO PALACIOS TISCAREÑO
P R E S E N T E .**

Con base en lo que establece el Reglamento de Docencia en el artículo 173, le informo que se le autoriza el tema de Trabajo Practico: "Propuesta Estructural de Rehabilitación del Templo San Felipe". Así mismo se le designa como asesor al Dr. en Arq. Gerardo Araiza Garaygordobil. A fin de asignarle fecha para la verificación del Examen de Grado para la obtención del título de la Maestría en Ingeniería con salida terminal en Seguridad Estructural, deberá de cumplir con lo establecido en los artículos 161,162,174 y 175.

Con el objeto de dar cumplimiento a este reglamento el paso siguiente será autorizar la impresión de su tesis, toda vez que presente la carta de liberación y/o acurdo señalado en la Fracc. II del artículo 175.

Sin mas por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"SE LUMEN PROFERRE"
Aguascalientes, Ags. 29 de septiembre de 2008

M. EN A. MARIO ANDRADE CERVANTES
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

c.c.p. M. en Urb. Humberto Durán López.- Secretario de Investigación y Posgrado
c.c.p. M. en V. Arq. Juan Javier Amador Romo de Vívar.- Jefe de Depto. de Construcción y Estructuras
c.c.p. Archivo

RESUMEN

Se presenta una propuesta de rehabilitación estructural del Templo San Felipe en base al análisis de los estudios geotécnicos, geológicos, geofísicos, geohidrológicos y topográficos, así como dictámenes técnicos. El Templo está constituido por tres naves, una central con una altura de 14.50 m., cubierta por bóvedas cilíndricas a base de cuña tipo petatillo, divididas por arcos de concreto reforzado de 0.60X0.50 m. apoyados en columnas de concreto de 0.61X0.61 m. de sección, y dos naves laterales de 8.70 m. de altura a base de bóvedas con las mismas características, desplantadas lateralmente sobre muros de carga, transversalmente sobre arcos de concreto reforzado de 0.60X0.50 m. de sección apoyados en columnas de mampostería de 1.40X0.56 m. como contrafuertes. Derivado del análisis y discusión de los estudios recopilados, se determinó que los agrietamientos que presenta el edificio pudieran atribuirse a la presencia de un antiguo cauce de arroyo en los estratos subyacentes a la cimentación como lo indican los estudios topográficos, geotécnicos, geoelectrónicos y de microgravimetría y no a la existencia de una falla geológica como causa de la inhabilitación del Templo. Como resultado del Trabajo Práctico, se plantea la factibilidad de rehabilitación estructural del edificio. El proyecto de rehabilitación estructural y recimentación, se considera adecuado, práctico y con la posibilidad de conclusión a corto plazo.

ÍNDICE

CARTA DE LIBERACIÓN	i
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TEMA DE TESIS	iii
RESUMEN	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 LOCALIZACIÓN	3
1.4 OBJETIVO GENERAL	4
1.5 OBJETIVOS PARTICULARES	4
1.6 METODOLOGÍA	5
1.6.1. REQUISITOS METODOLÓGICOS	5
1.7 ANTECEDENTES	6
CAPITULO 2. SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS PREVIOS	7
2.1. GEOSYC, LABORATORIO	7
2.1.1 GENERALIDADES	7
2.1.2. INTRODUCCIÓN	7
2.1.3. ANTECEDENTES	7
2.1.4. METODOLOGÍA	8
2.1.4.1. Ensayes de laboratorio	8
2.1.4.2. Capacidad de Carga	9
2.2. ÁVILA, P. ESTUDIO GEOLÓGICO	10
2.2.1. GENERALIDADES	10
2.2.2. INTRODUCCIÓN	10
2.2.3. ANTECEDENTES	11
2.2.4. METODOLOGÍA	12

2.2.4.1.	Sondeos tipo P.C.A.	12
2.2.4.2.	Estudio Geoeléctrico de Resistividad	12
2.3.	DICTÁMEN PERICIAL. MONTERO, L.	13
2.3.1.	MECANISMO DE FALLA DE LA ESTRUCTURA	13
2.3.2.	RECOMENDACIONES	13
2.4.	SEGUNDO DICTÁMEN PERICIAL MONTERO, L.	14
2.4.1.	GENERALIDADES	14
2.4.2.	RECOMENDACIONES	14
2.5.	ESTUDIO GEOELÉCTRICO. CEAPA	15
2.5.1.	ANTECEDENTES	15
2.5.2.	RESULTADOS GEOELÉCTRICOS	15
2.5.3.	INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA	15
2.6.	ESTUDIO GEOFÍSICO. ARROYO, M. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO	16
2.6.1.	GENERALIDADES	16
2.6.2.	INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES	17
3.8.3.	CONCLUSIONES	17
2.7.	DICTÁMEN DEFINITIVO DEL GRUPO TÉCNICO MULTIDISCIPLINARIO	18
2.7.1.	GENERALIDADES	18
3.9.1.1.	FASE 1	18
3.9.1.2.	FASE 2	18
2.7.2.	ESTUDIOS REALIZADOS POR EL GTM	18
2.7.3.	CONCLUSIONES	19
2.8.	PROGRAMA DE DEMOLICIONES. COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE AGUASCALIENTES	20
2.8.1.	GENERALIDADES	20
2.8.2.	PROGRAMA DE DEMOLICIÓN	20
2.8.3.	CONCLUSIÓN	20
2.9.	ESTUDIO PARA LA REHABILITACIÓN DEL TEMPLO SAN FELIPE. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES	21
2.9.1.	GENERALIDADES	21
2.9.2.	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	21
2.9.3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ESTADO DEL TEMPLO	21
2.9.4.	PROPUESTA DE REINTEGRACIÓN ESTRUCTURAL	22
2.9.5.	DIRECTRICES	23

2.9.5.1. Estructurales	23
2.9.5.2. Físico-Constructivas	23
2.9.6. CONCLUSIONES	23
2.10. ESTUDIO GEOELÉCTRICO. TERRA TECNOLOGÍA	24
2.10.1. GENERALIDADES	24
1.10.2. METODOLOGÍA	24
2.10.3. INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS	24
2.10.3.1. Línea 3. Perfil Geológico	25
2.10.3.2. Línea 3. Perfil Sísmico	25
1.10.3.3. Línea 4. Perfil Geológico y Sísmico	26
2.10.4. CONCLUSIONES	27
2.11. ESTUDIO GEOTÉCNICO. LABORATORIO COSOC	28
2.11.1. GENERALIDADES	28
2.11.2. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	28
2.12. ESTUDIO GEOTÉCNICO. LÓPEZ, V. SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS ESTATALES	29
2.12.1. GENERALIDADES	29
2.12.2. HIPÓTESIS	29
2.12.3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO	30
2.12.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO	31
2.12.5. INTERPRETACIÓN DE LA EXPLORACIÓN	31
2.12.6. DICTÁMEN TÉCNICO	32
2.12.7. RECOMENDACIONES PARA LA REPARACIÓN	32
2.12.8. CONCLUSIONES	32
2.12.9. CORRELACIÓN DE ESTUDIOS	32
CAPITULO 3. ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE ESTUDIOS	33
3.1. INTRODUCCIÓN	33
3.2. METODOLOGÍA	33
3.3. ANÁLISIS DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	33
3.3.1. SONDEOS TIPO P.C.A.	33
3.3.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	34
3.4. NIVELACIONES	36
3.5. INTEGRACIÓN DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y TOPOGRÁFICOS	37
3.5.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	37

3.5.1.1. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.	37
3.5.1.2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS.	38
3.6. ESTUDIOS GEOÉLÉCTRICOS	38
3.7. ESTUDIOS SÍSMICOS	40
3.8 ANÁLISIS MICROGRAVIMÉTRICO	41
3.9. DISCUSIÓN SOBRE LOS ESTUDIOS REALIZADOS	43
3.10. CONCLUSIÓN	45

CAPITULO 4. PROPUESTA ESTRUCTURAL DE REHABILITACIÓN 47

4.1. INTRODUCCIÓN	47
4.2. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS	47
4.3. RESISTENCIA DE CONCRETO POR MEDIO DE LA PRUEBA DEL ESCLERÓMETRO	47
4.3.1. Norma NMX-C-192-2006	47
4.3.2. Preparación y Acondicionamiento de las muestras	47
4.3.3. Condiciones ambientales	48
4.3.4. Procedimiento	48
4.3.5. Cálculo y expresión de los resultados	48
4.3.6. Precisión	48
4.3.7. Informe de la prueba	48
4.3.8. Mantenimiento y Calibración	49
4.3.9. Aclaraciones	49
4.3.10 Equipo	49
4.3.11. Desarrollo de la prueba	50
4.3.12. Localización de la superficie de prueba	52
4.3.13. Datos Edificio Académico y Templo San Felipe	52
4.3.14. Procedimiento de la prueba	52
4.3.15 Prueba aplicada en el Templo San Felipe	53
4.2.2.20. CONCLUSIÓN	53
4.4. PROPUESTA ESTRUCTURAL	54
4.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	54
4.4.1.1. Cimentación	54
4.4.1.2. Estructura	54
4.4.1.3. Muros	54
4.4.2. PROPUESTA DE ESTRUCTURACIÓN Y MODELO DE ANÁLISIS	54

4.4.3. MODELO DE CONJUNTO	55
4.4.4. CRITERIOS GENERALES DE CÁLCULO	56
4.4.4.1. Análisis Estructural	56
4.4.4.2. Concreto Reforzado	56
4.4.4.3. Acero Estructural	56
4.4.4.4. Esfuerzos de Diseño	57
4.4.4.5. Análisis de Cargas	57
4.4.4.5.1. Cargas Permanentes	57
4.4.4.5.2. Cargas Variables	57
4.4.5. DISEÑO POR VIENTO	58
4.4.5.1. Parámetros de análisis	58
4.4.5.2. Determinación de la velocidad de diseño	58
4.4.5.3. Presiones de diseño	59
4.4.6. REVISIÓN DE ELEMENTOS DE ACERO	61
4.4.7. ESTATUS DE DISEÑO	64
4.4.8. PROPUESTA Y REVISIÓN DE RECIMENTACIÓN	64
4.4.8.1. Elementos de concreto más desfavorables	64
4.4.8.2. Numeración de nodos en la cimentación	64
4.4.8.3. Resultados del Análisis de columna del nodo 765.	65
4.4.8.3.1. Diagramas de esfuerzos	65
4.4.8.4. Resultados del Análisis de columna del nodo 763.	66
4.4.8.4.1. Diagramas de esfuerzos	66
4.4.9. REVISIÓN DE SECCIONES Y ARMADOS DE ZAPATAS CENTRALES	68
4.4.9.1. Revisión de zapata sujeta a carga axial	68
4.4.9.2. Carga axial de diseño	68
4.4.9.3. Área necesaria	68
4.4.9.4. Determinación del peralte	68
4.4.9.5. Área de la sección crítica	69
4.4.9.6. Esfuerzo cortante último	69
4.4.9.7. Esfuerzo cortante por punzamiento	69
4.4.9.8. Refuerzo por flexión	69
4.4.9.9. Determinación del área de acero	70
4.4.9.10. Peralte total de la zapata	70
4.4.10. REVISIÓN DE MICROPILOTES	71

4.4.10.1. REVISIÓN DE MICRO PILOTES DE CONCRETO POR PUNTA BAJO LA TEORÍA DE MEYERHOF	71
4.4.10.2. LONGITUD DE PILOTE	72
4.4.10.3. CAPACIDAD DE CARGA POR PILOTE	72
4.4.10.4. REVISIÓN DE SEPARACIÓN	73
4.4.10.5. CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA DEL PILOTE PARA SUELOS MIXTOS	73
4.5. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO	74
4.5.1. Planta Arquitectónica de conjunto	74
4.5.2. Planta Arquitectónica	75
4.5.3. Fachada Principal	76
4.5.4. Fachada lateral sur	77
4.5.5. Fachada lateral norte	78
4.5.6. Corte A	79
4.5.7. Corte B	80
4.5.8. Corte C	81
4.5.9. Corte D	82
4.5.10 Corte E	83
4.5.11. REPORTE FOTOGRÁFICO	84
4.6 PROYECTO ESTRUCTURAL	86
4.6.1. Planta de cimentación	86
4.6.2. Detalles de zapatas aisladas	87
4.6.3. Detalle de anclajes y contratrabes	88
4.6.4. Planta estructural de azotea	89
4.6.5. Planta estructural arcos laterales	90
4.6.6. Corte estructural A	91
4.6.7. Corte estructural B	92
4.6.8. Corte estructural C	93
4.6.9. Corte E	94
4.6.10. Detalles estructurales	95
4.6.11. Detalles estructurales	96
4.6.12. Detalles estructurales	97
4.6.13. Detalles estructurales	98
4.7. MODELO ESTRUCTURAL	99

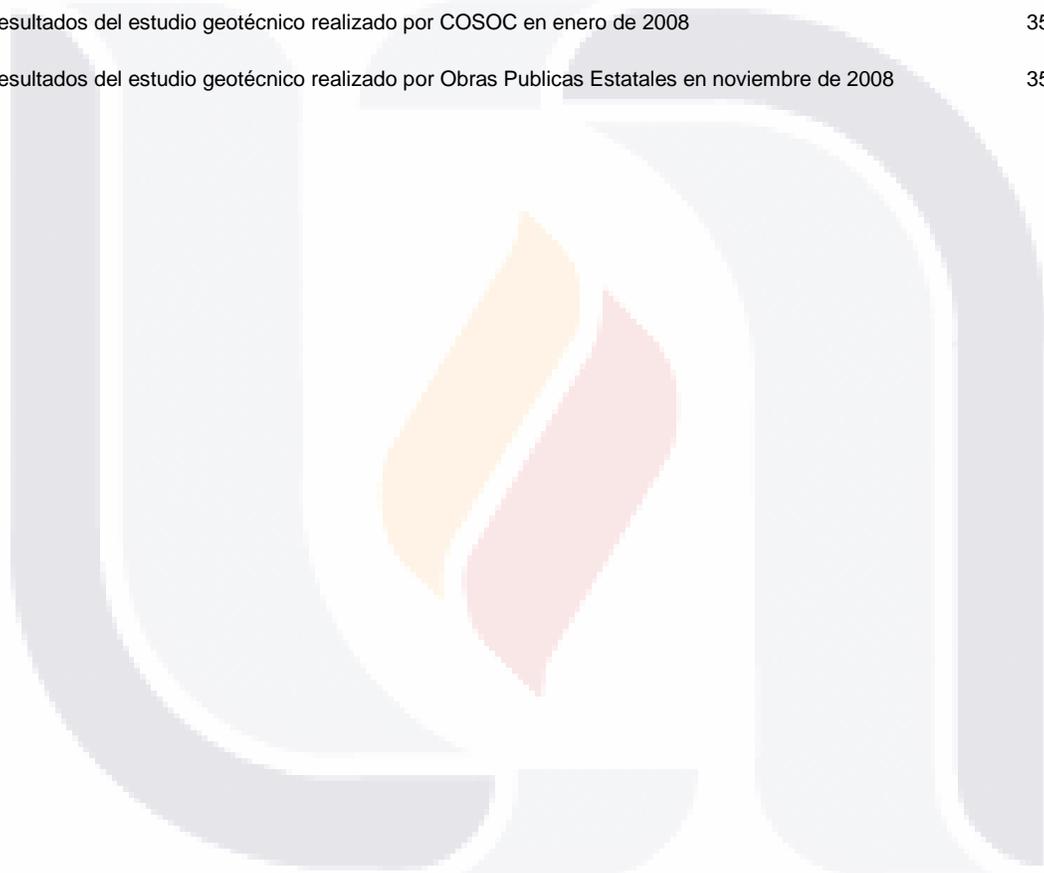
CAPITULO 5. CONCLUSIONES	101
5.1. INTRODUCCIÓN	101
5.2. ESTUDIOS PREVIOS	101
5.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	101
5.4. NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA	101
5.5. LEVANTAMIENTO ACTUAL DEL INMUEBLE	101
5.6. ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE CONCRETO	101
5.7. LEVANTAMIENTO DE SECCIONES Y ARMADOS ESTRUCTURALES	102
5.8. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	102
5.9. PROPUESTA DE RECIMENTACIÓN	102
5.10. PROYECTO ESTRUCTURAL	102
5.11 CONCLUSIÓN	102
5.12 RECOMENDACIONES	103
APÉNDICE A	105
APÉNDICE B	109
APÉNDICE C	110
GLOSARIO	111
REFERENCIAS	113
BIBLIOGRAFÍA	114
ÍNDICE DE FIGURAS	
Fig.1. Características descriptivas actuales del Templo San Felipe	1
Fig.2. Localización del Templo San Felipe de Jesús.	3
Fig.3. Localización de sondeos tipo P.C.A.	7
Fig.4. Corresponde al Sondeo1, donde se aprecia la profundidad de desplante de los muros, la grieta en el muro, además de la presencia de humedad en el estrato superficial.	9
Figura 5. Carta 8/18 Grietas y fallas Geológicas de Aguascalientes donde aparece la trayectoria de falla que teóricamente afecta directamente en las grietas del templo	10
Fig.6. Planta de sondeos realizados en el área del Templo	11
Fig.7. Evidencia de un antiguo cauce de arroyo	12
Fig.8. Líneas de perfiles gravimétricos analizados	16
Fig.9. Propuesta de liberación estructural del Templo	22

Fig.10. Líneas de estudio Geofísico	24
Fig. 11. Perfil geoelectrico línea 3	25
Fig.12. Perfil sísmico línea 3	25
Fig.13. Perfil Geoelectrico línea 4	26
Fig.14. Perfil Sísmico línea 4	26
Fig.15. Perfil Geoelectrico línea 5	26
Fig.16. Perfil Sísmico línea 5	26
Fig. 17. Levantamiento topográfico nivelado a cada centímetro y localización de columna con mayor asentamiento	29
Figura 18. Perfil estratigráfico del sondeo 1	30
Figura 19. Granulometría de estrato superior	31
Figura 20. Granulometría del estrato inferior	31
Figura 21. Perdida de materiales entre estratos	31
Fig.22. Gráfica de granulometría de un sondeo realizado a diferentes profundidades	34
Fig.23. Gráfica de granulometría de los tres sondeos realizados a diferentes profundidades	34
Fig.24. Gráfica de granulometría correspondiente a dos sondeos realizados a diferentes profundidades	35
Fig.25. Gráfica de granulometría correspondiente a un sondeo realizado a diferentes profundidades	35
Fig. 26. Análisis comparativo de nivelaciones topográficas desarrolladas en un periodo de diez años	36
Fig. 27. Resultado de evaluación de estudios Geotécnicos y Topográficos realizados en un periodo de diez años	37
Fig.28. Líneas de análisis Geoelectrico realizado por Terra Tecnología, CEAPA y Ávila, P.	38
Fig. 29. Corresponde a la calle Santa Irene y contiene la superposición del Templo San Felipe con los estudios geofísicos	39
Fig.30. Corresponde al área interior del templo, donde destaca la variación de resistividad a lo largo del desplante del Templo	39
Fig.31. Corresponde a la calle San Felipe, donde se observa el predominio de materiales con resistividades relativamente bajas	39
Fig. 32. El perfil corresponde a la calle Santa Irene y en el rango de de los 65 a 85 m. se aprecia la existencia de lo que pudiera interpretarse como el cauce de un arroyo	40
Fig. 33. Representa la parte interior del Templo donde se observa la variación de los estratos	40
Fig. 34. Calle San Felipe en la que se observa la uniformidad de los estratos y la disminución del correspondiente a materiales deformables	41
Fig.35. Líneas de análisis tendientes a verificar la existencia de un cauce	41
Fig.36. Área transversal que ocupa el Templo	42
Fig. 37. Perfil de microgravimetría de la calle Carlos Sagredo	42

Figura 38. Esclerómetro PCE-HT-225	49
Figura 39. Ubicación del Edificio Académico de la Universidad Autónoma de Aguascalientes	50
Figura 40. Estructura del Edificio Académico de la Universidad Autónoma de Aguascalientes	50
Figura 41. Ubicación del Templo San Felipe	51
Figura 42. Estructura del Templo San Felipe	51
Figura 43. Limpieza de la superficie CCDC	52
Figura 44. Aplicación de la prueba CCDC	52
Figura 45. Limpieza de la superficie San Felipe	53
Figura 46. Aplicación de la prueba San Felipe	53
Fig.47. Planta estructural de rehabilitación	55
Fig.48. Modelo tridimensional vista aérea	55
Fig.49. Modelo tridimensional vista en perspectiva	56
Fig.50. Relación de Esfuerzos combinación de Carga Permanente + Viento	60
Fig. 51. Estatus de diseño satisfactorio	64
Fig. 52. Numeración de nodos en la cimentación de acuerdo con el modelo analizado	65
Fig.53. Diagramas de momentos y esfuerzos axiales de la columna de análisis	66
Fig.54. Columna más desfavorable para el análisis de la cimentación	66
Fig. 55. Diagramas de momentos y esfuerzos axiales de la columna del nodo 763	67
Fig. 56. Columna más desfavorable en el área de rehabilitación con estructura de acero	67
Fig. 57. Esquema de análisis de micropilotes de concreto	71
Fig. 58. Propuesta de distribución de pilotes en zapata aislada	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1. Resultados de ensayos de laboratorio de muestras alteradas de suelo	8
Tabla 2. Resultados de capacidad de carga en los diferentes estratos de desplante	9
Tabla 3. Resultados de las propiedades físico – mecánicas de los materiales	28
Tabla 4. Resultados del estudio geotécnico realizado por Obras Publicas Estatales en marzo de 1999	34
Tabla 5. Resultados del estudio geotécnico realizado por GEOSYC en mayo de 1997	34
Tabla 6. Resultados del estudio geotécnico realizado por COSOC en enero de 2008	35
Tabla 7. Resultados del estudio geotécnico realizado por Obras Publicas Estatales en noviembre de 2008	35



CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

La propuesta de rehabilitación estructural del Templo San Felipe, consiste básicamente en dar continuidad a las directrices de reintegración estructural propuestas por la Universidad Autónoma de Aguascalientes a través del Departamento de Construcción y Estructuras y se fundamenta en los estudios desarrollados a partir de la manifestación del problema de agrietamientos en pisos, muros y cúpulas en año 1997. El Trabajo Práctico no pretende descalificar las hipótesis, dictámenes y teorías de quienes participaron en los estudios, sino que propone realizar un análisis personal de dichos estudios con la finalidad de integrar una propuesta estructural de rehabilitación.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL INMUEBLE

El Templo está constituido por tres naves, una central con 14.50 m. de altura, cubierta por bóvedas cilíndricas a base de cuña acabado tipo petatillo, divididas por arcos de concreto reforzado de 0.60X0.50 m. apoyados en columnas de concreto de 0.61X0.61 m. de sección y dos naves laterales de 8.70 m. de altura a base de bóvedas con las mismas características, soportadas lateralmente sobre muros de carga, transversalmente sobre arcos de concreto reforzado de 0.60X0.50 m. de sección apoyados en columnas de mampostería de 1.40X0.56 m. como contrafuertes (Fig.1).



Fig.1. La figura muestra las características descriptivas actuales del Templo San Felipe.

1.2. ANTECEDENTES

A solicitud del Párroco del Templo, en mayo de 1997, se solicitó al laboratorio GEOSYC un estudio geotécnico con el objetivo de determinar las características físico-mecánicas, así como la capacidad de carga de los diferentes estratos con el objeto de apoyar al estructurista en la posible solución al problema.

En diciembre de 1997, el Ing. Geólogo Carlos Ávila Ramírez realizó un estudio geológico que consistió en determinar las causas del agrietamiento que afectaba al Templo, con el propósito de complementar la información en la posible solución de la rehabilitación.

En abril de 1998, se le encomendó al Ing. Lucio Montero Orozco un Dictámen Pericial sobre el estado de seguridad estructural del Templo, analizando la cimentación, muros, estructura y obras exteriores.

En diciembre de 1998, el propio Ing. Lucio Montero Orozco realizó un segundo Dictámen Pericial, en el que recomendó la clausura del Templo, misma que se llevó a cabo el día 15 de febrero de 1999.

En febrero de 1999, la empresa Amador Construcciones y Estructuras, analizó la información de los estudios realizados, proponiendo un Estudio Geoeléctrico de Resistividad a mayor profundidad con el objetivo de confirmar o descartar la presencia de una falla en el terreno, así como un levantamiento Topográfico.

En marzo de 1999, CEAPA (Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado), planteó la ejecución de dos líneas geoeléctricas entre los límites norte y sur del predio con estaciones de medición a cada 2.50 m. para determinar a detalle los materiales depositados en el lugar, en la franja de alteración del Templo San Felipe.

En junio de 2000, la Universidad Autónoma de Querétaro a través de la Facultad de Ingeniería, en colaboración con el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), llevó a cabo el proyecto SIGHO que consistió en un estudio de Micro-Gravimetría de precisión con 5 perfiles de análisis.

En 2004, la Universidad Autónoma de Aguascalientes a través del Departamento de Construcción y Estructuras, realizó un estudio de rehabilitación, presentando con resultados numéricos la factibilidad de rescatar el Templo.

En febrero de 2005, se le solicitó al Grupo Técnico Multidisciplinario (GTM), integrado por especialistas en las diferentes áreas de la Ingeniería, un informe técnico definitivo, sustentado en los estudios anteriores, por lo que se determinó realizar una serie de análisis ordenados que permitieran paulatinamente tomar la decisión de continuar con dichos estudios.

Derivado del dictámen del GTM, en octubre de 2005, el Colegio de Ingenieros Civiles de Aguascalientes, presentó un Programa Secuencial de Demolición Total del Templo San Felipe tomando en cuenta la propuesta de la Universidad Autónoma de Aguascalientes respecto a la demolición parcial en la trayectoria de los agrietamientos.

En diciembre de 2007, a solicitud de la Presidencia Municipal, Terra Tecnología realizó un estudio de exploración Geofísica para determinar la distribución de la resistividad en 5 líneas de estudio, con el fin de analizar los perfiles geofísicos y sísmicos para finalmente determinar la factibilidad de rehabilitación del Templo San Felipe.

Como estudio complementario para evaluar la factibilidad de rehabilitación, en enero de 2008, se le solicitó al Laboratorio COSOC el estudio geotécnico para definir las características físico - mecánicas de los materiales que conforman el suelo y los parámetros mecánicos que permitirían al estructurista diseñar la cimentación y obras complementarias.

Finalmente y derivado de la conformación de la Mesa Temática del Templo San Felipe, coordinada por la SEPLADE (Secretaría de Planeación y Desarrollo de Gobierno del Estado), con la participación del Laboratorio de Obras Públicas Estatales, la Secretaría de Obras Públicas Municipales y la Universidad Autónoma de Aguascalientes, se llevó a cabo un estudio geotécnico de las características físico - mecánicas del suelo, presentando la teoría de la causa del mecanismo de falla del templo y un dictámen técnico definitivo de rehabilitación del Templo.

1.3 LOCALIZACIÓN

El Templo San Felipe de Jesús se ubica en la colonia Altavista y se encuentra delimitado al norte por la calle San Felipe, al sur por la calle Santa Irene, al oriente, la calle Carlos Sagredo y al poniente por la calle Rafael Arellano (Fig.2).

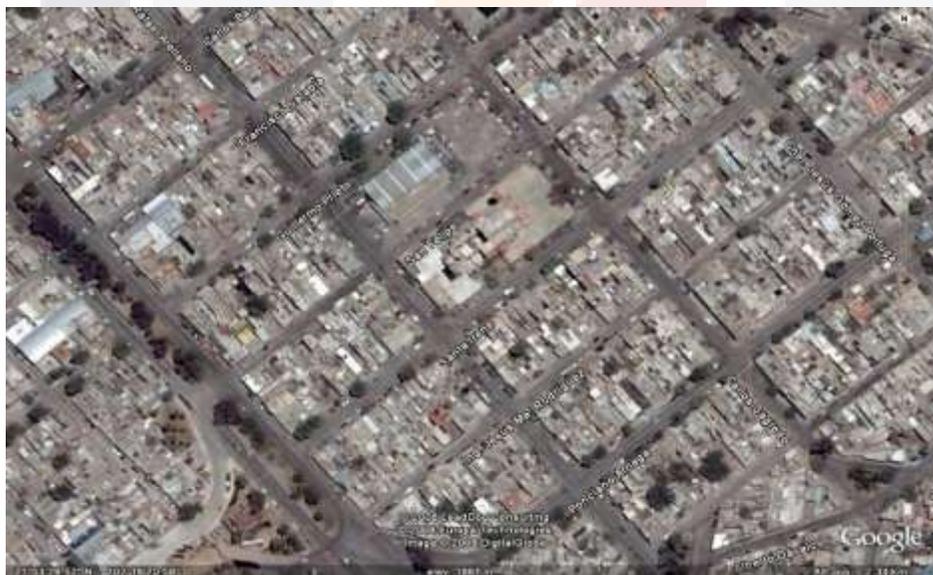


Fig.2. Localización del Templo San Felipe de Jesús.

1.4. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del Trabajo Práctico consiste en la exposición de una Propuesta Estructural de Rehabilitación del Templo San Felipe en base a la continuidad de los estudios realizados por la Universidad Autónoma de Aguascalientes, aplicando la información relevante derivada de la recopilación y análisis de los estudios efectuados a la fecha, llevando a cabo los trabajos complementarios como un levantamiento arquitectónico y estructural del estado actual del Templo, el análisis comparativo de los asentamientos diferenciales sufridos en el período de inhabilitación del inmueble, estudios de resistencia de concretos, etc., información que se aplicara en la modelación de la estructura propuesta mediante el software de análisis Ram Advanse; con fundamento en el resultado de los elementos mecánicos, se revisará la propuesta de recimentación culminando con el proyecto estructural de rehabilitación en el que se integrará el diseño de la estructura, así como las piezas especiales modelando el proyecto final con el software de diseño 3d Max del que se presentarán las perspectivas de solución de la estructura.

1.5. OBJETIVOS PARTICULARES

- ✚ Recabar la información relacionada al problema del agrietamiento del Templo San Felipe, realizando una síntesis y análisis cronológico, evaluando los datos más relevantes aplicables a la propuesta estructural.
- ✚ Realizar una nivelación actualizada del interior del Templo mediante un equipo laser para comparar la información derivada de las nivelaciones anteriores y determinar el comportamiento de los asentamientos diferenciales sufridos en el lapso de tiempo desde la inhabilitación del inmueble.
- ✚ Levantamiento del estado actual del Templo que incluirá la elaboración de los planos arquitectónicos (planta, cortes y fachadas).
- ✚ Análisis de la resistencia a la compresión simple (f_c), de los elementos estructurales existentes, mediante la prueba no destructiva denominada “Esclerómetro”, datos aplicables al modelo estructural de análisis.
- ✚ Levantamiento de secciones y armados de la estructura en estado actual que integrarán el modelo estructural.
- ✚ En base a la evaluación y análisis de la información recabada y la determinación de los datos aplicables a la propuesta estructural, así como el resultado de los estudios complementarios, se planteará el uso de perfiles metálicos como medio de unión entre los dos cuerpos del edificio y mediante un modelo tridimensional aplicando el software de análisis estructural RAM ADVANSE, revisar si cumplen los elementos propuestos y en su caso modificar y verificar las secciones hasta llegar a la estructura óptima.
- ✚ Proponer, analizar y revisar estructuralmente una cimentación que garantice la estabilidad del edificio en base al resultado del análisis de la información recabada, considerando los valores de capacidad de carga conveniente, así como la propuesta en su caso de la recimentación de las áreas afectadas y la solución correspondiente.

- ✚ Desarrollar el proyecto estructural del Templo conteniendo el diseño de piezas especiales, perfiles y especificaciones, complementado con un modelo tridimensional que contempla perspectivas interiores y exteriores de la propuesta de rehabilitación, utilizando el programa de diseño 3D MAX 9.

1.6. METODOLOGÍA

El problema de rehabilitación estructural del Templo San Felipe, ha sido motivo de controversia entre los diferentes actores de los estudios realizados a la fecha, con diferentes opiniones y conclusiones, que van desde la existencia de una posible falla geológica, un suelo inestable, o fallas en el proceso de construcción.

Para poder sustentar la propuesta de solución del problema planteado en el tema del Trabajo Práctico, es necesario conocer los diferentes estudios previos realizados, por lo que se investigará con las Dependencias de Gobierno, Profesionistas, Laboratorios especializados y Universidades que intervinieron en la elaboración de los trabajos orientados a dar solución al problema de agrietamiento en pisos, muros y cúpulas del Templo.

Con el objeto de dar continuidad al estudio para la rehabilitación del Templo, elaborado por la Universidad Autónoma de Aguascalientes, se continuará con el método científico aplicado a la revisión numérica de factibilidad de la propuesta estructural.

De acuerdo al estudio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (2004), se determinó que aún cuando se presenten asentamientos diferenciales del orden de 20 cm, el comportamiento de la estructura, se considera estable, sin embargo se plantea la cuestión de ¿Qué sucede en el punto en el interior del Templo que presenta el mayor asentamiento?, Para dar respuesta, se propone realizar un sondeo a una profundidad que permita conocer las características físico – mecánicas del o los diferentes estratos para poder determinar una posible solución factible al problema mediante una propuesta de recimentación y reintegración de la estructura.

1.6.1. REQUISITOS METODOLÓGICOS

Para llevar a cabo el proyecto de rehabilitación estructural del Templo, se consideran las siguientes acciones.

- ✚ Un análisis objetivo de la información recabada.
- ✚ El análisis de factibilidad de reestructuración.
- ✚ El diseño óptimo de la estructuración de acuerdo al resultado del estudio.
- ✚ La integración de la información arquitectónica y estructural complementaria.
- ✚ La evaluación basada en el análisis numérico de la propuesta estructural de rehabilitación.
- ✚ El seguimiento del comportamiento posterior a la rehabilitación.

Paralelo al trabajo de investigación acerca de los estudios realizados, se efectuará el levantamiento estructural del Templo para la elaboración del modelo de análisis; se realizará las pruebas necesarias para conocer la resistencia a la compresión simple de los elementos de concreto con sus respectivos armados; los sondeos en el interior, concretamente en las columnas que soportan la nave central que concentra la mayor carga, así como las columnas de mampostería, esto con la finalidad de conocer si éstas contienen elementos de concreto reforzado.

1.7. ANTECEDENTES

Para sustentar la propuesta de rehabilitación estructural, fue preciso recabar la información existente acerca de los estudios y dictámenes elaborados a la fecha y de los que se realiza una síntesis cronológica.

- ✚ Estudio Geotécnico. GEOSYC (26 de mayo de 1997)
- ✚ Estudio Geológico. Ing. Geólogo Carlos Ávila Ramírez (diciembre de 1997)
- ✚ Dictámen Pericial. Ing. Lucio Montero Orozco (16 de abril de 1998)
- ✚ Segundo Dictámen Pericial. Ing. Lucio Montero Orozco (07 de diciembre de 1998)
- ✚ Estudio Geoeléctrico. CEAPA (marzo de 1999)
- ✚ Estudio Geofísico. Universidad Autónoma de Querétaro (junio de 2000)
- ✚ Dictámen definitivo del Grupo Técnico Multidisciplinario (3 de febrero de 2005)
- ✚ Programa de Demoliciones. Colegio de Ingenieros Civiles de Aguascalientes (17 de octubre de 2005)
- ✚ Estudio para la Rehabilitación del Templo San Felipe. Universidad Autónoma de Aguascalientes (2005)
- ✚ Estudio Geoeléctrico. Terra Tecnología (diciembre de 2007)
- ✚ Estudio Geotécnico. Laboratorio COSOC (enero de 2008).
- ✚ Estudio Geotécnico. Ing. Víctor Daniel López Sánchez. Secretaría de Obras Públicas Estatales (Noviembre de 2008)

CAPÍTULO 2

SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS PREVIOS

2.1. GEOSYC, LABORATORIO (26 DE MAYO DE 1997).

2.1.1 GENERALIDADES.

Del presente estudio Geotécnico, se realizará un análisis de las propiedades físico-mecánicas y de las capacidades de carga en los diferentes estratos así como de los datos relevantes para correlacionarlos con los estudios posteriores y finalmente, definir la información principal para la propuesta estructural.

2.1.2. INTRODUCCIÓN

Debido a la aparición de grietas en piso, muros y cúpulas en el Templo San Felipe y a solicitud del Párroco del Templo, a través de las autoridades Municipales, se solicitó al laboratorio GEOSYC un estudio geotécnico con el objetivo de determinar las características físico-mecánicas del suelo donde se desplantó la cimentación del inmueble, así como la capacidad de carga de los diferentes estratos con la finalidad de aportar datos al estructurista en el análisis correspondiente.

2.1.3. ANTECEDENTES

Se realizó un estudio de los diferentes estratos mediante tres sondeos del tipo P.C.A (Pozo a Cielo Abierto), es decir sondeos efectuados con máquina retroexcavadora o mediante excavación manual, con pico y pala, hasta una profundidad máxima de 3.00 m. obteniendo muestras alteradas que se ensayaron en el laboratorio para la obtención de las propiedades del físico-mecánicas del suelo. Para la obtención de la capacidad de carga del suelo, se utilizaron las pruebas de penetración estándar en los puntos con la trayectoria de los agrietamientos del Templo, siendo éstos en el exterior del edificio (Fig.3).

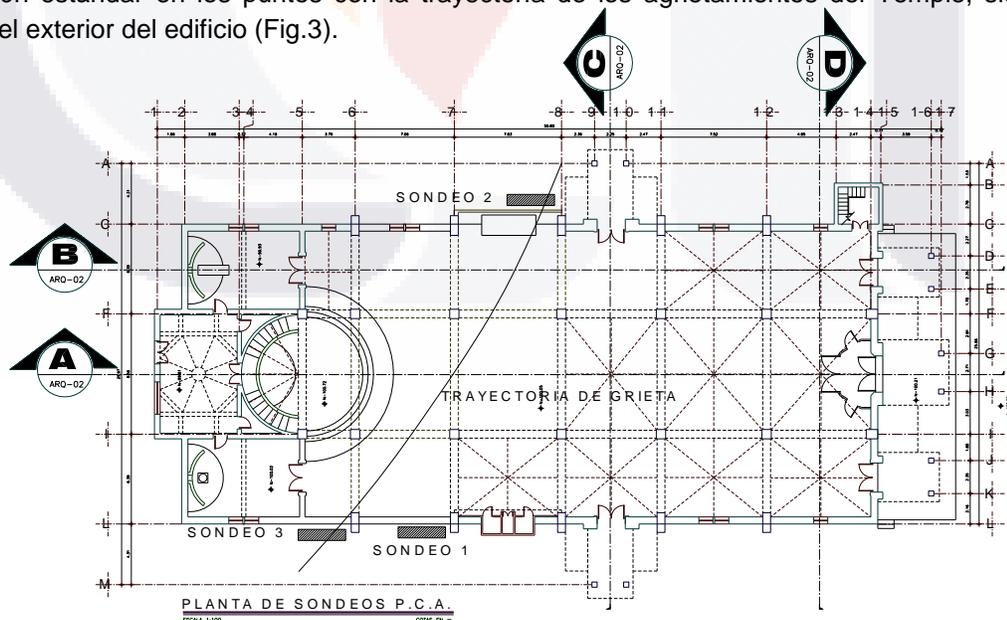


Fig.3. Localización de sondeos tipo P.C.A.

2.1.4. METODOLOGÍA

Se analizará la información de los resultados de ensayos del laboratorio en relación al valor relativo de soporte en los diferentes estratos, así como la clasificación del tipo de suelo SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), por estrato de acuerdo a los sondeos realizados para formular la hipótesis del fenómeno que ha generado el problema del agrietamiento en el Templo.

Se analizará la información de la capacidad de carga en los diferentes estratos, enfatizando los valores en donde se desplantó la cimentación del edificio.

Finalmente se realizarán las observaciones del reporte fotográfico, así como los comentarios a las conclusiones del laboratorio GEOSYC.

2.1.4.1. Ensayes de laboratorio.

De los resultados de los ensayos de las muestras alteradas del suelo, se destaca la variación en los valores del V.R.S. (Valor Relativo de Soporte), de las capas subyacentes a la cimentación de los muros perimetrales del Templo con la siguiente tabla¹

SONDEO	PROFUNDIDAD (m.)	V.R.S. (%)	S.U.C.S.	TIPO DE SUELO
1	1.20 – 2.15	27.90	SC	Arenas arcillosas
	2.15 – 3.00	11.70	CL	Arcillas con grava
2	0.00 – 0.90	41.90	SM	Arenas limosas
	2.00 – 2.60	45.70	SM	Arenas limosas
3	0.70 – 1-20	21.40	SC	Arenas arcillosas
	1.20 – 2.15	7.80	CL	Arcillas con gravas

Tabla1. Resultados de ensayos de laboratorio de muestras alteradas de suelo.

De la tabla anterior, se observa que a una profundidad entre los 2.15 y 3.00 m. de acuerdo a los sondeos, el valor VRS es muy bajo, además de acuerdo a la clasificación SUCS, el tipo de suelo denota la ausencia de arcillas, que indican que en estos estratos pudiera encontrarse un arroyo que estuviera arrastrando los materiales finos provocando de esta manera los posibles asentamientos, y por lo tanto los agrietamientos que se reflejan en la estructura del templo. Esta hipótesis se confrontará con los resultados de los estudios posteriores.

¹ Tabla 1. Reporte del laboratorio GEOSYC del día 01 de mayo de 1997.

2.1.4.2. Capacidad de Carga

De los resultados del laboratorio y de campo, mediante las pruebas de penetración estándar, se realiza el análisis de los resultados de las capacidades de carga en los diferentes estratos producto de los sondeos llevados a cabo, datos que aparecen en la tabla 2.

SONDEO	PROFUNDIDAD (m.)	ANCHO (m.)	RESISTENCIA q _a (kg/cm ² .)
1	0.40	1.00	1.10
	1.20	1.00	1.30
	2.30	1.00	2.95
2	1.00	1.00	1.25
	2.15	1.00	3.20
3	0.40	1.00	1.10
	2.00	1.00	1.20

Tabla 2. Resultados de capacidad de carga en los diferentes estratos de desplante.

De los resultados de la tabla 2², se observa que la capacidad de carga en los estratos correspondientes al desplante de los muros laterales del templo, tienen a un factor muy bajo, que pudiera también estar ligado a las grietas que los muros presentan en los puntos de análisis correspondientes a la trayectoria de la grieta interior del Templo. (Fig.4³).



Fig.4. Corresponde al Sondeo1, donde se aprecia la profundidad de desplante de los muros, la grieta en el muro, además de la presencia de humedad en el estrato superficial.

² Reporte de capacidad de carga, GEOSYC (1997).
³ Sondeo 1 del reporte fotográfico, GEOSYC (1997).

2.2. ÁVILA, P. ESTUDIO GEOLÓGICO (DICIEMBRE DE 1997).

2.2.1. GENERALIDADES.

El estudio realizado por Ávila, P. consistió en determinar las causas del agrietamiento que afecta al Templo, en base a un estudio geológico realizado en diciembre de 1997, con el propósito de complementar la información a los estructuristas encargados de la posible rehabilitación. Y de los cuáles se tomarán los aspectos más importantes para continuar acumulando datos y elementos de juicio para la integración de la propuesta estructural.

2.2.2. INTRODUCCIÓN

Ávila, P. presenta un análisis de los trabajos realizados con anterioridad destacando los siguientes puntos.

Que en la carta 8/18 de grietas y fallas geológicas en la ciudad de Aguascalientes de 1995 editada por la Presidencia Municipal, (Figura 5)⁴, donde aparecen dos supuestas fallas denominadas “Grietas Altavista”, la más amplia con rumbo noreste otra con rumbo norte-sur siendo ésta la que supuestamente ha generado los agrietamientos en el Templo.

Además hace notar la diferencia entre los términos Grieta y Falla, que la carta aplica sin distinción. “Por definición grieta es una fractura sin desplazamiento y falla cuando la fractura ha tenido desplazamiento”⁵.

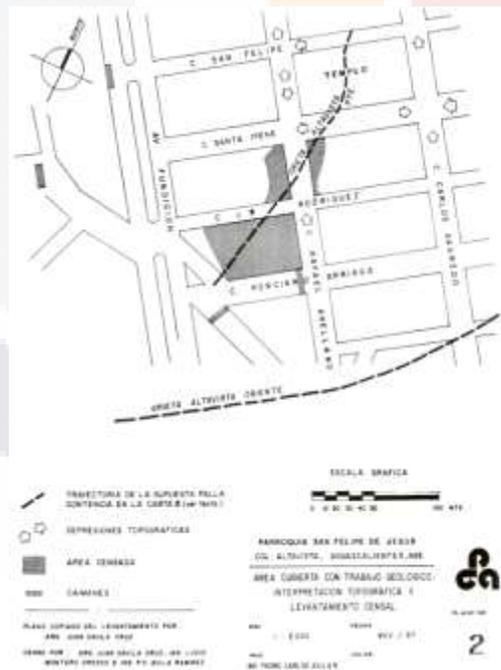


Figura 5. Carta 8/18 Grietas y fallas Geológicas de Aguascalientes donde aparece la trayectoria de falla que teóricamente afecta directamente en las grietas del templo.

⁴ Carta 8/18 grietas y fallas Geológicas realizado por Ávila, P. (1997).

⁵ Ávila, P. (1997)

2.2.3. ANTECEDENTES

En el estudio de Ávila, P., se realizaron visitas a casas habitación con la traza de la supuesta falla sin encontrar evidencia de que los agrietamientos observados fueran resultado de dicha falla, sino que fueron debidos a defectos en su construcción.

Por otro lado menciona que en la grieta Altavista poniente, no se observa asentamiento en el subsuelo, no así las grietas Altavista oriente y San Cayetano-Miravalle, que están cercanas al Templo, en las que efectivamente se aprecian desplazamientos verticales y horizontales que corresponden una verdadera falla.

Ávila, P. afirma que los agrietamientos del Templo no se deben a la grieta que aparece en la carta 8/18 de grietas y fallas, en base a lo siguiente:

- ✚ Que los agrietamientos tienen grados de inclinación diferentes al comportamiento de una falla (80° al oriente y 30° al poniente), que en consecuencia los agrietamientos se debe a otra causa.
- ✚ Que no se aprecian hundimientos en el terreno colindante del Templo.
- ✚ Se realizaron siete sondeos tipo P.C.A. de 6.00 m. de largo y profundidad máxima de 2.00 m. paralelos al muro sur del templo (Fig.6)⁶.
- ✚ Se llevó a cabo un estudio Geoeléctrico de resistividad tipo Dipolo-Dipolo sobre las calles San Felipe y Santa Irene.

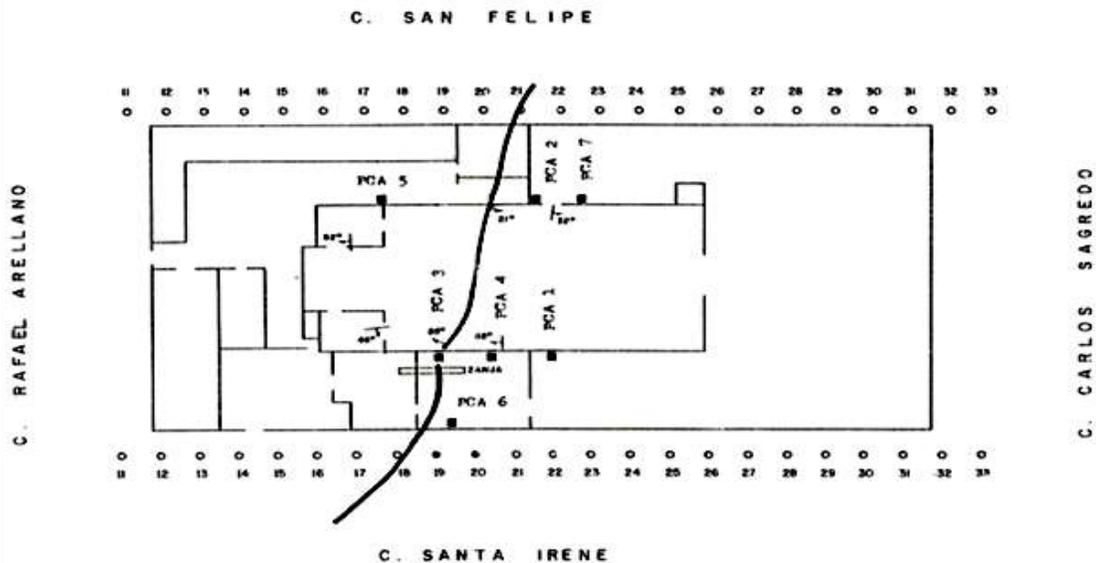


Fig.6. Planta de sondeos realizados y líneas de estudio Geoeléctrico de resistividad en el área del Templo.

⁶ Planta de sondeos tipo P.C.A. y líneas de estudio geoelectrico, Ávila, P. (1997).

2.2.4. METODOLOGÍA

De los estudios de pozos a cielo abierto y Geológico, se realizará un análisis de los resultados correlacionados con el estudio Geotécnico elaborado anteriormente por el laboratorio GEOSYC para complementar la información necesaria que se tomará en cuenta para el proyecto estructural de rehabilitación.

2.2.4.1. Sondeos tipo P.C.A.

Del estudio de los sondeos tipo P.C.A. en el perímetro del templo, Ávila, P. concluye que:

La cimentación no tiene cadenas de desplante y que está constituida por tabique unido con mortero cal-arena, con relleno a base de grasa de fundición en las áreas donde aparecieron irregularidades en el terreno, en otros sondeos se observó que la cimentación se desplantó sobre terreno vegetal y el dato que concuerda con el estudio geotécnico es que la zona del agrietamiento es coincidente con el cauce de un antiguo arroyo y finalmente, el agrietamiento en los muros no profundiza y sólo afecta de la cimentación hacia arriba, por lo que afirma que **no existe la supuesta falla**. Por otro lado, en uno de los P.C.A. se encontró evidencia del cauce de un antiguo arroyo (Fig.7.)⁷

Respecto a este estudio, existe congruencia con los resultados de las observaciones de GEOSYC en el sentido de que el edificio se construyó sobre los márgenes de arroyos o ríos reforzando la hipótesis inicial.

2.2.4.2. Estudio Geoeléctrico de Resistividad.

Se realizaron dos sondeos dipolares en las calles Santa Irene y San Felipe (Fig.6.), cuyos resultados fluctuaron entre 10 y 20 ohm/m. y las lecturas más altas llegan a 50 ohm/m., correlacionando estos datos con los obtenidos en los diferentes pozos de la ciudad, estableciendo los siguientes rangos: 2.50 a 20 ohm/m. corresponden a las arcillas y de 21 a 50 ohm/m. corresponden a las arenas.

Los resultados anteriores, se compararon con los realizados en fallas detectadas cuyas lecturas se disparan varios centenares en ohm/m. determinando que **“la supuesta falla corresponde a un antiguo cauce de arroyo”**.

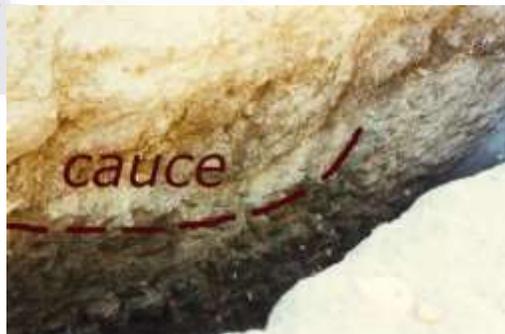


Fig.7. Evidencia de un antiguo cauce de arroyo.

⁷ Fig.7. Cauce de un arroyo antiguo Ávila, P. (1997).

2.3. DICTÁMEN PERICIAL. MONTERO, L. (16 DE ABRIL DE 1998).

Montero, L. realizó un dictámen pericial del Templo analizando la cimentación, muros, estructura y obras exteriores, destacando lo siguiente: En la fecha que se construyó el Templo, no se contaba con un Reglamento de Construcciones y que a la fecha no se dispone de planos arquitectónicos, estructurales y memoria de cálculo.

Resultado del análisis, concluye que la estructura del Templo se encuentra gravemente dañada y refiere que la causa de la existencia de la grieta en el interior del Templo, es debida a la acelerada extracción de agua de los mantos acuíferos y que coincide con una de las trayectorias de las Grietas Altavista.

2.3.1. MECANISMO DE FALLA DE LA ESTRUCTURA

Refiere también el mecanismo de falla del terreno donde se desplantó el Templo, que según el estudio de especialistas del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. a solicitud de la Secretaría de Obras Públicas de Gobierno del Estado de Aguascalientes, se hace una diferencia entre las fallas geológicas que conforman el Graben de Aguascalientes y las grietas superficiales del terreno que se han producido en el material de depósito aluvial de relleno en la fosa tectónica, que se producen al deslizarse el basamento del graben debido al excesivo abatimiento de los mantos acuíferos contenidos en dicho graben. Y dado que el proceso de consolidación se lleva a cabo en un período prolongado de tiempo, las grietas se manifiestan primero en la superficie y finalmente se producirán deslizamientos verticales entre bloques, siendo esta la causa de que aún no se manifiestan los asentamientos diferenciales en la estructura del Templo.

2.3.2. RECOMENDACIONES

Montero, L. dictamina que a la brevedad, se apuntalen las áreas afectadas estructuralmente por el riesgo inminente de un colapso parcial de la estructura en caso de que se presenten deslizamientos verticales a lo largo de la superficie de contacto entre bloques. Solicitando un estudio de reubicación o crecimiento del Templo hacia el área oriente, proponiendo la demolición de las áreas afectadas. Finalmente propone un proyecto estructural que cumpla con los niveles de seguridad estructural reglamentaria.

2.4. SEGUNDO DICTÁMEN PERICIAL MONTERO, L. (07 DE DICIEMBRE DE 1998).

2.4.1. GENERALIDADES

Montero, L. realizó un segundo dictámen pericial, del que destaca que en un período de cuatro meses, los agrietamientos se incrementaron alarmantemente y que a la fecha del dictámen, se contó con el apuntalamiento de arcos y bóvedas en la trayectoria de los agrietamientos.

2.4.2. RECOMENDACIONES

Montero, L. recomienda que a principios de 1999, se lleven a cabo tres acciones. Primero, que se coloque un tapial de madera que cubra los vanos del área afectada, con el objeto de proteger a los fieles que asisten al Templo, en segundo término, propone la demolición de bóvedas, arcos, y cimentación por parte de una empresa especializada con el fin de liberar la estructura dañada de la que está en buen estado para que ésta se desplace libremente conforme al movimiento diferencial y finalmente monitorear el comportamiento de los dos cuerpos.

Por otro lado recomendó la “Clausura del Templo”, misma que se llevó a cabo el día 15 de febrero de 1999, en tanto se llevarán a cabo los estudios complementarios.

2.5. ESTUDIO GEOELÉCTRICO. CEAPA (MARZO DE 1999)

2.5.1. ANTECEDENTES

Con la finalidad de detectar las condiciones de los agrietamientos en la franja de alteración en el Templo San Felipe, CEAPA (Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado), planteó la ejecución de dos líneas geoelectricas entre los límites norte y sur del predio con estaciones de medición a cada 2.50 m. Para determinar a detalle los materiales depositados en el lugar y mediante la información relativa a los cortes litológicos, niveles estático y dinámico, caudales de explotación de los pozos del área, topografía e hidrología superficial, apoyando la teoría que señala como la causa más probable del agrietamiento reciente, al abatimiento del nivel de agua del acuífero.

2.5.2. RESULTADOS GEOELÉTRICOS

Los valores de resistividad aparente detectados al sur del Templo muestran rangos muy bajos, entre 7 y 10 ohm/m., dos rangos de 10 a 15 ohm/m. y de 20 a 35 ohm/m. destaca la estación 20, donde se observa una forma semi triangular característica.

En la línea 2, al norte, se muestran valores entre 11 y 15 ohm/m., 15 y 20 ohm/m. y entre las estaciones 42.5 a 47.5, se configuró una anomalía de mayor resistividad de entre 20 y 30 ohm/m. que se relaciona con la franja de alteración de la grieta.

3.5.3. INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA

En el perímetro existen varios pozos de bombeo de profundidad desde los 200 hasta 500 m. y que son el pozo Altavista, Col. Del Carmen, Panorama, etc. El abatimiento del nivel estático, generan conos de depresión que pueden abarcar radios de influencia de varios cientos de metros provocando un efecto conjunto.

“En base a un estudio de acuíferos de Valles Aluviales con niveles similares de abatimiento, se ha registrado la compactación de estratos drenados generando la aparición de grietas y asentamientos diferenciales del orden de 1 a 10 metros”.

Debido al avance de varios agrietamientos y asentamientos de esta franja de la ciudad, entre éstas la grieta San Felipe, Miravalle y El Carmen, indican la clara influencia del descenso en el nivel de saturación debido a los grandes volúmenes de explotación de agua subterránea generando grandes esfuerzos verticales de compresión que asociados a la tensión de los materiales, rompen los sedimentos, manifestándose en fracturas o grietas verticales con componentes a 45° y de acuerdo a las propiedades mecánicas de los materiales depositados sobre el antiguo cauce de Los Arellano como: Dureza, plasticidad y elasticidad, se producen en algunas zonas hundimientos rápidos y en otras escaso desplazamiento.

2.6. ESTUDIO GEOFÍSICO. ARROYO, M. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO (JUNIO DE 2000)

2.6.1. GENERALIDADES

Con el objetivo de identificar la estructura geológica del área del Templo, La Universidad Autónoma de Querétaro, llevó a cabo el proyecto SIHGO que consistió en un estudio de Micro – Gravimetría de precisión con un total de 5 perfiles (Fig. 8)⁸, con longitudes desde 166 hasta 1011 m., la separación entre perfiles, osciló entre 3 y 6 m. Realizando un total de 535 estaciones de medición con un equipo denominado Gravímetro Scintrex CG-3/3M con precisión de 0.005 mili Gales (mGal.), cuyos datos fueron procesados y transformados a anomalías Bouguer y de Aire Libre.



Fig.8. Líneas de perfiles gravimétricos analizados.

⁸ Proyecto SIHGO, Universidad Autónoma de Querétaro (2000).

2.6.2. INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES

La interpretación cuantitativa consistió en la elaboración de secciones bidimensionales utilizando el Programa T-G2, desarrollado en el Departamento de Geofísica de la Universidad Estatal de Moscú.

Para la realización del Trabajo Práctico, es de interés la interpretación de los perfiles 3, 4 y 5 que afectan directamente al Templo, sin restarle importancia a los demás perfiles.

2.6.2.1. Perfil 3. Realizado al NE sobre la calle San Felipe, con una longitud de 338 m. con un total de 58 estaciones y cuya característica es que aparentemente **todas las anomalías observadas tienen un origen superficial** y cuya sección está constituida por bloques con densidad entre 2.25 y 2.4 g/cm³. Del área con anomalías, sobresale el cadenamamiento de 350 a 400 m. al sur del punto de medición, se presenta un aumento de densidad a los 2.4 g/cm³. que sugiere la existencia de una falla.

2.6.2.2. Perfil 4. Orientado sobre la calle Santa Irene, con una longitud de 340 m. y con 108 estaciones, en donde la intensidad de la anomalía observada en el perfil 3, disminuye gradualmente del SW al NE. La parte SW del perfil presenta un bloque levantado con profundidad 5 veces mayor al bloque NW, que supone la presencia de una estructura escalonada e dirección NE y la dislocación entre los bloques.

2.6.2.3. Perfil 5. Este perfil se desarrolla diagonalmente y pasa sobre la trayectoria del agrietamiento, siendo el perfil más corto con 166 m. y 34 estaciones y que al correlacionarlos, se encontró que **existen dos bloques con densidades diferentes y separados por fallamiento.**

2.6.3. CONCLUSIONES

La U.A.Q. concluye que existe una gran complejidad estructural en el subsuelo donde se ubica el Templo San Felipe, que existe una falla geológica en el área de la zona y que cruza el predio en dirección sur – norte y que es causante de la inestabilidad del terreno.

Que existe una relación estrecha entre las fallas geológicas, la conformación estratigráfica, los fallamientos del suelo y los cauces de agua, que en particular se tiene una zona geológica y topográficamente propicia para formar un cauce con la posibilidad de acumulación de agua y cuyos pozos están muy cercanos a los fallamientos del suelo que cruza el Templo.

Que la estructura del templo está construida con materiales pobres y de poca resistencia a la tensión, prácticamente mampostería, formando elementos estructurales irregulares, por lo que las posibilidades de recimentación, reestructuración y reparación de los daños existentes en la estructura del Templo, implicarían inversiones onerosas y daría una solución provisional, recomendando buscar otro predio para el emplazamiento del inmueble.

2.7. DICTÁMEN DEFINITIVO DEL GRUPO TÉCNICO MULTIDISCIPLINARIO (3 DE FEBRERO DE 2005)

2.7.1. GENERALIDADES

En el año 2004, el Párroco del Templo San Felipe manifestó al Presidente Municipal Martin Orozco Sandoval, la posibilidad de reestructurar el Templo con base en la propuesta del Dr. en Ing. Mario Eduardo Zermeño de León, que a fin de verificar la factibilidad, se reunieron Autoridades Municipales y personal del Departamento de Construcción y Estructuras de la Universidad Autónoma de Aguascalientes en donde se acordó que la decisión de Rehabilitar el Templo debería de estar sustentada en los estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos.

Con el objeto de establecer acuerdos, se formó el Grupo Técnico Multidisciplinario (GTM), cuyo compromiso sería entregar un informe técnico definitivo, en base a los estudios anteriores, por lo que se determinó realizar una serie de análisis ordenados que permitieran paulatinamente tomar decisiones de continuar con dichos estudios, para lo cuál, se establecieron dos fases.

2.7.1.1. FASE 1. Consistió en realizar estudios Geológicos y Geofísicos que serían efectuados por el Colegio de Geólogos de Aguascalientes y Obras Públicas de Gobierno del Estado a través de la empresa Terra Tecnología del Subsuelo respectivamente.

Estos estudios permitirían conocer las características de la formación del subsuelo, la existencia o no de discontinuidades y la posibilidad de reubicar parcial o totalmente el Templo.

Dependiendo de los resultados, se determinaría si se continúa con la Fase 2 o bien concluir que no es factible la reestructuración.

2.7.1.2. FASE 2. Se realizarían estudios de Mecánica de Suelos y Estructurales mediante los cuáles, se determinarían las características físicas y mecánicas de los materiales donde se ubica el Templo, así como determinar la capacidad de carga, los tipos de cimentación y estructuras recomendadas y las propiedades geométricas de los elementos que darían seguridad al comportamiento actual y futuro bajo condiciones internas y externas inducidas.

2.7.2. ESTUDIOS REALIZADOS POR EL GTM

Del estudio Geológico indicado en la Fase 1, se concluyó que en la zona de estudio, se tienen dos discontinuidades, siendo una en parte responsable del agrietamiento del Templo y de los daños en las construcciones a lo largo de su trayectoria.

Describe también la presencia de suelo arcillo-arenoso con plasticidad, compresibilidad y baja resistencia, corroborados con los P.C.A.

Con el objeto de establecer el comportamiento de cada una de las columnas del Templo, se realizaron nivelaciones topográficas con equipos GPS de precisión, nivel fijo y micrómetro.

Del estudio Geofísico, se realizó un modelo tridimensional a fin de verificar la profundidad del suelo y concluye que el templo se encuentra desplantado en una serie de materiales de mala calidad, donde los valores de resistividad se encuentran por debajo de los 50 ohm-m. y la velocidad de la

honda “P” por debajo de los 2000 m/seg. Existe una zona bien definida entre 15 y 30 m. de ancho en la cuál se encuentra la discontinuidad evidente en la superficie del terreno y en el Templo.

Desde el punto de vista geofísico, el terreno no ofrece garantías para la rehabilitación del Templo, ni considera factible la reubicación ya que la calidad de los materiales no mejora sensiblemente en el espesor analizado (30 m.).

2.7.3. CONCLUSIONES

No se consideró continuar con la fase 2 planteada anteriormente descartando la factibilidad de re-estructuración del Templo y no se recomendó conservar la estructura del mismo en las condiciones en que se encuentra y finalmente mantener restringido el acceso al inmueble por el riesgo de colapso que representa.



2.8. PROGRAMA DE DEMOLICIONES. COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE AGUASCALIENTES (17 DE OCTUBRE DE 2005)

2.8.1. GENERALIDADES

Derivado del dictámen del GTM, el Colegio de Ingenieros Civiles de Aguascalientes, presentó un Programa Secuencial de Demolición Total del Templo San Felipe, el cuál se integró de manera gráfica para que pudiera ser entendida aún por personas que no fueran especialistas en la materia.

2.8.2. PROGRAMA DE DEMOLICIÓN

Se presentó un programa de demoliciones para la totalidad del Templo, y como primera etapa, las áreas afectadas estructuralmente por agrietamientos en el Templo, recomendando el uso de herramientas especiales como cortadora de disco para concreto o mampostería, ya que al realizar la demolición por golpeo, se corre el riesgo de provocar colapsos en las zonas dañadas, por otro lado recomienda el uso de arnés o canastillas suspendidas en la pluma de una grúa para el caso de las demoliciones de bóvedas.

2.8.3. CONCLUSIÓN

La decisión de la demolición del área afectada, se basó en los informes geológicos y geofísicos sin considerar los análisis numéricos y otras teorías, por lo que se continúa con el análisis de los estudios posteriores.

2.9. ESTUDIO PARA LA REHABILITACIÓN DEL TEMPLO SAN FELIPE. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES (2005).

2.9.1. GENERALIDADES

En 1994, se invitó al Departamento de Construcción y Estructuras del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción de la Universidad Autónoma de Aguascalientes a participar como observador y a realizar un estudio de rehabilitación del Templo San Felipe.

El estudio se fundamentó en el método científico basado en el comportamiento de la estructura para proponer las soluciones de rehabilitación.

2.9.2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La metodología aplicada por la Universidad Autónoma de Aguascalientes, se centro en:

La conformación de una base científica y tecnológica sólida, la especificidad del diseño de la solución propuesta tomando en cuenta el estado físico-morfológico y mecánico del Templo, realizando la evaluación numérica experimental así como la evaluación del comportamiento a corto y largo plazo de la solución ejecutada.

2.9.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ESTADO DEL TEMPLO

Con el objetivo de evaluar los esfuerzos actuantes sobre los elementos estructurales del Templo, se llevó a cabo por la UAA la simulación del comportamiento estructural en tres dimensiones, mediante el programa de análisis estructural de elementos finitos SAP 2000 NL, para modelar correctamente la estructura en base a la configuración de las secciones y refuerzo de la estructura.

La UAA, realizó un análisis estático de la estructura en tres dimensiones, tomando en cuenta los grados de libertad correspondientes, así como el peso propio, peso muerto sobre las bóvedas y los asentamientos diferenciales en algunas columnas con el análisis de cuatro niveles (0, 11 (estado a la fecha del estudio), 20 y 50 cm.), donde se evaluaron los esfuerzos actuantes sobre los elementos estructurales para cada combinación.

El estudio concluye que realizando un análisis general de las cargas y esfuerzos sobre la estructura, cuando pasa de un asentamiento 0 a 11 cm, se incrementa en un 37% respecto al estado nulo, y a un 111% en el caso hipotético de un asentamiento diferencial de 20 cm. que si llegara a ocurrir, el riesgo de colapso sería innegable, por lo que se propuso liberar los elementos estructurales sometidos a esfuerzos excesivos de tensión y cortante, que a la fecha del estudio y según el análisis realizado no presentaba riesgo de colapso como lo afirmo Montero, L.

Por otro lado propone dividir la nave en dos cuerpos, que trabajarían independiente cada uno sobre las dos superficies del suelo, una del lado firme y otro del lado del agrietamiento. Dicha liberación correspondería a la primera etapa de la intervención, dada por la demolición de los tableros en la trayectoria de los agrietamientos así como la consolidación y restauración de la Sacristía.

La UAA, presentó una propuesta estratégica de liberación estructural del Templo (Fig.9)⁹

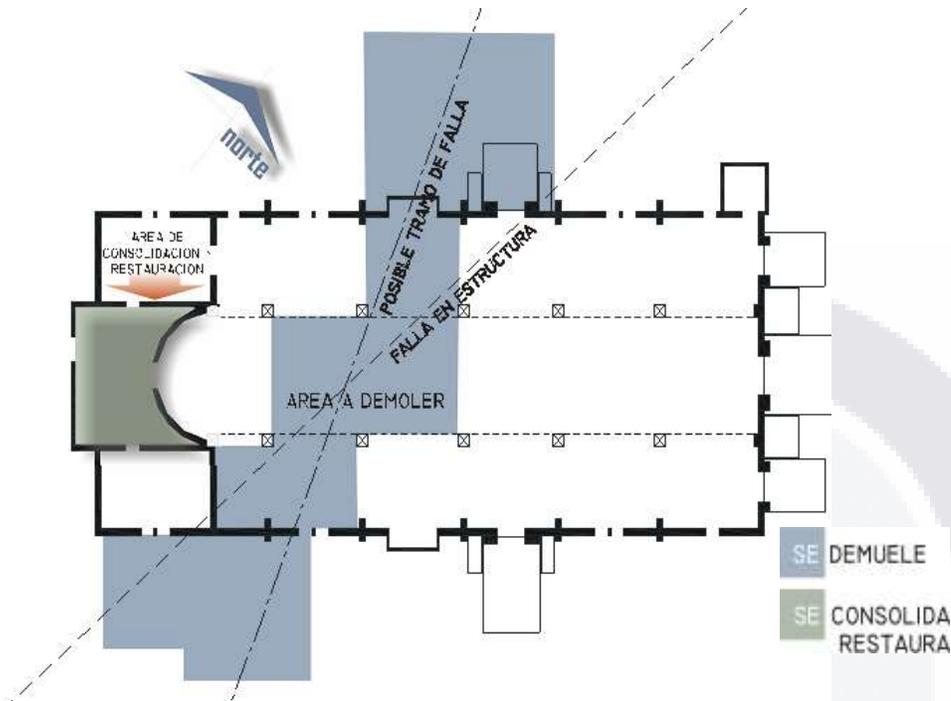


Fig.9. Propuesta de liberación estructural del Templo.

Como segunda acción, y una vez liberados los dos cuerpos, se realizó otro análisis estructural, con el objetivo de verificar el comportamiento de los asentamientos sobre los elementos estructurales comprobando que cuando pasa de asentamiento 0 a 11 cm., únicamente se incrementa en un 8% y al 28% en el caso del asentamiento de 20 cm., lo que significa que este procedimiento es adecuado y que contribuye al grado de seguridad del edificio.

2.9.4. PROPUESTA DE REINTEGRACIÓN ESTRUCTURAL

Con el objeto de proporcionarle funcionalidad como un solo edificio, la UAA propuso que la reintegración del Templo, se debería analizar desde el punto de vista físico-arquitectónico, estructural y constructivo, **que en el caso del presente Trabajo Práctico, se propone llevar a cabo éstas acciones.**

“Desde el punto de vista estructural y constructivo, deberá solucionarse la reintegración por medio de elementos estructurales que tengan liberados ciertos desplazamientos y giros. En este sentido, se proponen elementos tipo arcos o vigas que en un extremo estén libremente apoyados y en el otro extremo, estén articulados para el caso de las columnas, éstas podrían ligarse en su base por medio de contra-trabes, con el objeto de dar mayor rigidez al conjunto estructural en los márgenes

⁹ Departamento de Construcción y Estructuras UAA (2005).

de la línea de inflexión de asentamientos diferenciales, evitando los esfuerzos desfavorables en los arcos y bóvedas”.

2.9.5. DIRECTRICES

La UAA propone las siguientes directrices de diseño para la propuesta de rehabilitación:

2.9.5.1. Estructurales

Estudiar más profundamente el método de reintegración estructural y constructiva, analizando diferentes sistemas estructurales, tanto los elementos como sus interconexiones revisando a través de cálculos numéricos y por medio de su modelación.

Propone la modelación numérica del fenómeno geológico de la subsidencia para aplicarlo a la predicción del comportamiento estructural de los edificios afectados.

2.9.5.2. Físico-Constructivas

Los materiales, procesos, técnicas o sistemas constructivos empleados, deberán adaptarse a las características espaciales y formales del edificio, en el interior y exterior congruentes con la solución estructural propuesta.

2.9.6 CONCLUSIONES

De acuerdo con esta directriz, el Trabajo Práctico contempla la propuesta de rehabilitación estructural, la modelación y el análisis correspondiente con un software especializado, así como el proyecto ejecutivo.

2.10. ESTUDIO GEOELÉCTRICO. TERRA TECNOLOGÍA (DICIEMBRE DE 2007)

2.10.1. GENERALIDADES

En julio de 2005, Terra tecnología realizó un estudio de exploración Geofísica en el que se determinó la distribución de la resistividad y la velocidad de las ondas “P”, datos que se correlacionaron con los estudios Geológicos con el fin de determinar la factibilidad de rehabilitación del Templo San Felipe.

En 2007, se efectuó una revisión del mismo con el siguiente procedimiento:

2.10.2. METODOLOGÍA

Se utilizó la combinación el método geofísico eléctrico combinado con dos modalidades de sondeo eléctrico vertical y perfilaje geoelectrico con el método Dipolo-Dipolo en seis líneas. (Fig.10)¹⁰.

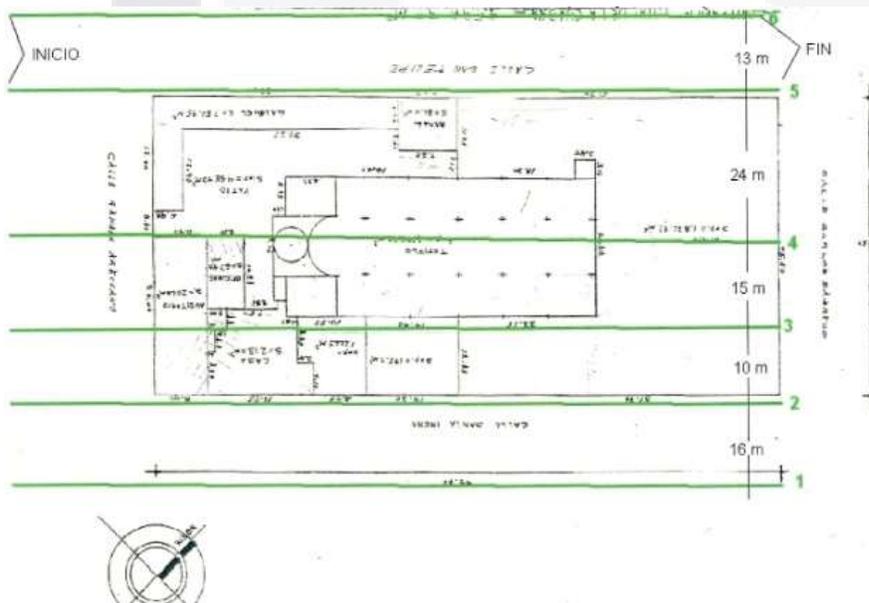


Fig.10. Líneas de estudio Geofísico.

2.10.3. INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS

Se presenta el análisis de Terra Tecnología, así como los perfiles de las líneas 3,4 y 5, datos que servirán para complementar la información del trabajo (Figs. 11, 12, 13, 14, 15 y 16)¹¹.

¹⁰ Estudio geoelectrico Terra Tecnología (2007).

¹¹ Perfiles Geoelectricos y Sísmicos. Terra Tecnología. (2007).

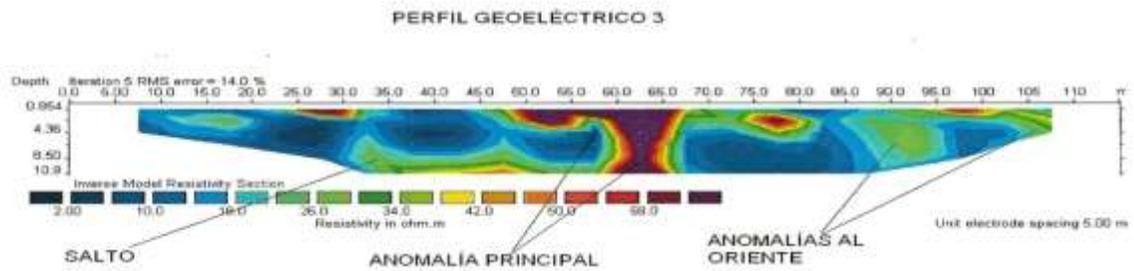


Fig. 11. Perfil geoelectrico línea 3.

2.10.3.1. Línea 3. Perfil Geológico.

“se puede ver que en los primeros 11 m. explorados con la geoelectrica predomina el material de baja resistividad (tonos azules) y sólo las anomalías que aparecen entre los 55 y 70 m. y entre 80 y 90 m. tiene resistividades mayores. La anomalía mencionada en el primer termino se correlaciona con la grieta que aparece en la zanja excavada para la verificación geológica y las pruebas de mecánica de suelos, aunque debe resaltarse que las observaciones efectuadas directamente en la cepa, mostraron grietas secundarias de menores dimensiones a lo largo de toda la excavación.”

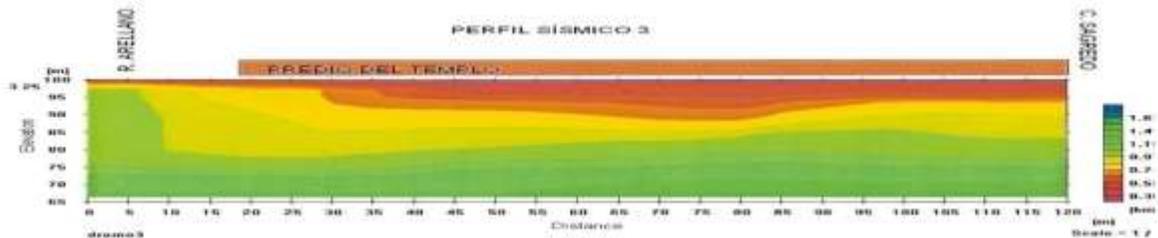


Fig.12. Perfil sísmico línea 3.

2.10.3.2. Línea 3. Perfil Sísmico

“la capa de más alta calidad en colores rojos y naranjas tiene un espesor de 12 m. y es más homogénea desde el punto de vista estructural, además de evidenciar el cauce de una manera más franca en la parte inicial de la sección. Después de correlacionar ambos perfiles, se puede sugerir la presencia de un escalón estructural de porción izquierda de la sección.”

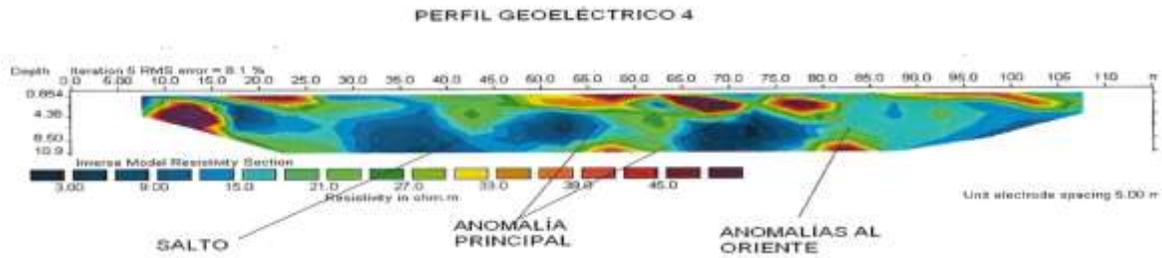


Fig.13. Perfil Geoelectrico.

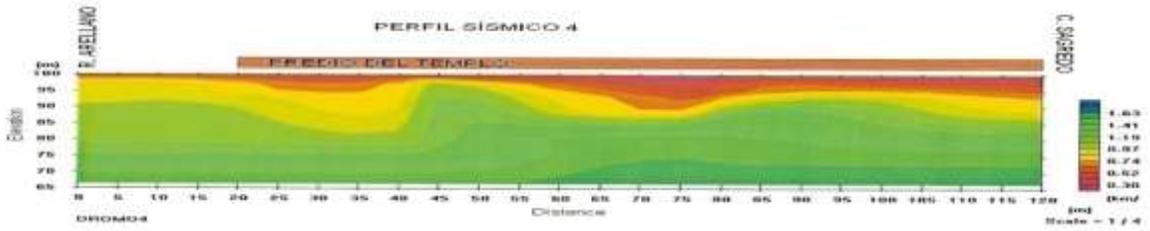


Fig.14. Perfil Sísmico.

2.10.3.3. Línea 4. Perfil Geológico y Sísmico.

Los resultados mostrados en la figura 13, señalan que la anomalía principal que se detectó entre 55 y 70 m. se correlaciona con el agrietamiento dentro del Templo, el ancho del rasgo hace pensar en toda la zona que ha descomprimido y ha perdido cohesión, los materiales que conforman el subsuelo son de mala calidad como evidencia el perfil sísmico (Fig.14), como se aprecia el espesor de la capa de menor velocidad alcanza más de 15 m. en esta sección (color amarillo) y el aumento del espesor en la capa blanda coincide con las anomalías geoelectricas.

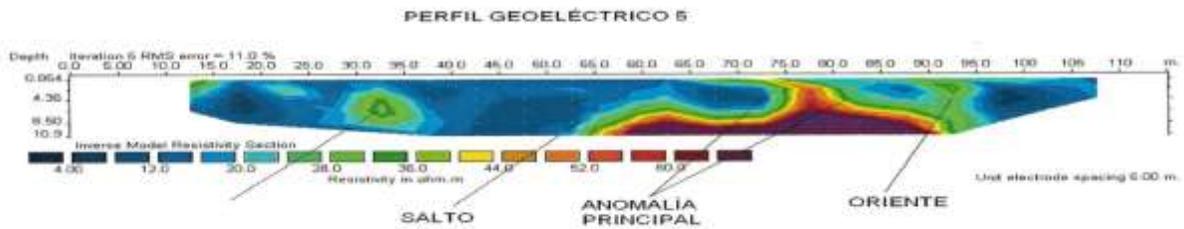


Fig.15. Perfil Geoelectrico.

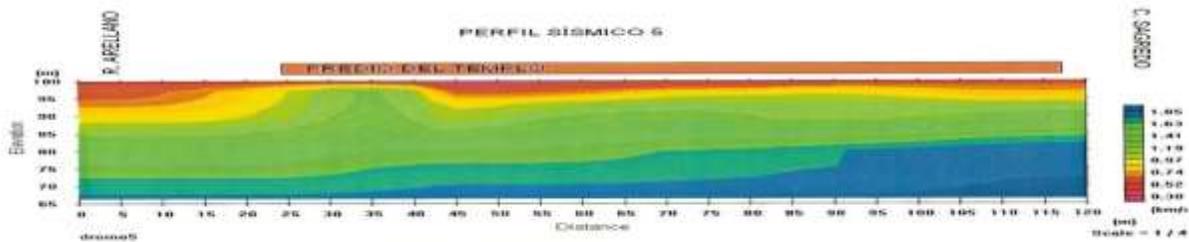


Fig.16. Perfil Sísmico.

Las secciones de la figura 15, muestran que persiste el material de baja resistividad y la anomalía principal aparece bajo marca de los 70 y 80 m., mostrando un aparente levantamiento del material con resistividad por encima de los 50 Ohm-m. (colores rojos a magenta), la anomalía señalada bajo la marca de 30 a 35 m. coincide con las líneas anteriores. En el perfil sísmico (Fig.16), *“aparecen las mismas capas que en los anteriores, con la diferencia de que disminuye el espesor de la capa superficial y de las interfaces con velocidades cercanas a los 2000 m/seg (azules) aparecen a una menor profundidad hacia la calle Carlos Sagredo, notándose el escalón bajo la marca de los 90 a 95 m.”*

2.10.4. CONCLUSIONES

Este estudio, complementa la información necesaria, propuesta por la UAA y presenta datos interesantes en las líneas exteriores e interior del Templo, con las siguientes observaciones:

De los perfiles Geoeléctricos se concluye que las anomalías coinciden con la trayectoria del agrietamiento interno y se manifiesta entre los 55 y 80 m., además sugiere la presencia de un cauce, respecto a los perfiles sísmicos, se resume que en la trayectoria del agrietamiento, existe material de baja resistividad con pérdida de cohesión y un aparente escalón en el área.

2.11. ESTUDIO GEOTÉCNICO. LABORATORIO COSOC (ENERO DE 2008).

2.11.1. GENERALIDADES

El estudio consistió en definir las características físico - mecánicas de los materiales que forman el suelo y los parámetros mecánicos que permitirán al estructurista diseñar la cimentación y obras complementarias.

2.11.2. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

La investigación geotécnica consistió en la realización de 2 sondeos a cielo abierto (P.C.A.), que se localizaron en las áreas exteriores de las calles San Felipe y Santa Irene respectivamente, con los siguientes resultados (Tabla 3).¹²

No. De Sondeo	No. De Estrato	Cohesión (Ton/m ²)	Áng. de fricción (grados)	Peso Vol. γ_m (Ton/m ³)	Capacidad de carga adm. (kg/cm ²)	Profundidad de desplante Df (m)	Módulos elásticos (kg/cm ²)	Grado de compactación (%)
1	2	1.22	16.62	1.61	1.104	1.00	64.53	79.0
							72.79	
							83.68	
2	3	1.15	17.14	1.63	1.076	1.00	59.14	80.0
							76.39	
							91.27	

Tabla 3. Resultados de las propiedades físico – mecánicas de los materiales.

De los resultados de la capacidad de carga realizados por los laboratorios GEOSYC y COSOC a una profundidad de 1.00 m., se tomará para fines del análisis estructural del presente trabajo, el menor valor que corresponde a 1.076 kg/cm². (**10.76 ton/m²**).

¹² Resultados estudio laboratorio COSOC. (Enero 2008).

2.12. ESTUDIO GEOTÉCNICO. LÓPEZ, V. SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS ESTATALES (NOVIEMBRE DE 2008)

2.12.1. GENERALIDADES

Ante la incertidumbre de no contar con un dictámen definitivo respecto al mecanismo de falla del sistema, se le solicitó a la Secretaría de Obras Públicas Estatales su participación para comprobar la hipótesis de Ávila, P. con el fin de elaborar un proyecto definitivo de rehabilitación.

Mediante la colocación de una referencia entre los niveles de piso laterales, se identificó que la columna de la intersección F7 (Fig.17)¹³, presentó una diferencia de nivel de 14 centímetros respecto al piso lateral, por lo que se procedió a solicitar una nivelación topográfica del piso interior, concretamente en el área de las columnas, en conjunto con las observaciones geológicas efectuadas por Ávila, P., se logró establecer una nueva hipótesis de agrietamiento de la estructura.

2.12.2. HIPÓTESIS

“El fallamiento que se ha presentado en la estructura del Templo, se debe principalmente a asentamientos diferenciales en la cimentación de la estructura principal y de los muros laterales. El asentamiento diferencial tiene que ver directamente con problemas de suelos inestables que subyacen a la cimentación”. Mediante la exploración directa del suelo, se buscó probar que la hipótesis anterior tiene fundamento”, para ello, se realizó la exploración correspondiente mediante el sondeo de dos pozos a cielo abierto en las intersecciones de los ejes F7 e I11 con los siguientes resultados de los que sólo se presenta el primero, siendo éste el que presenta el mayor asentamiento.

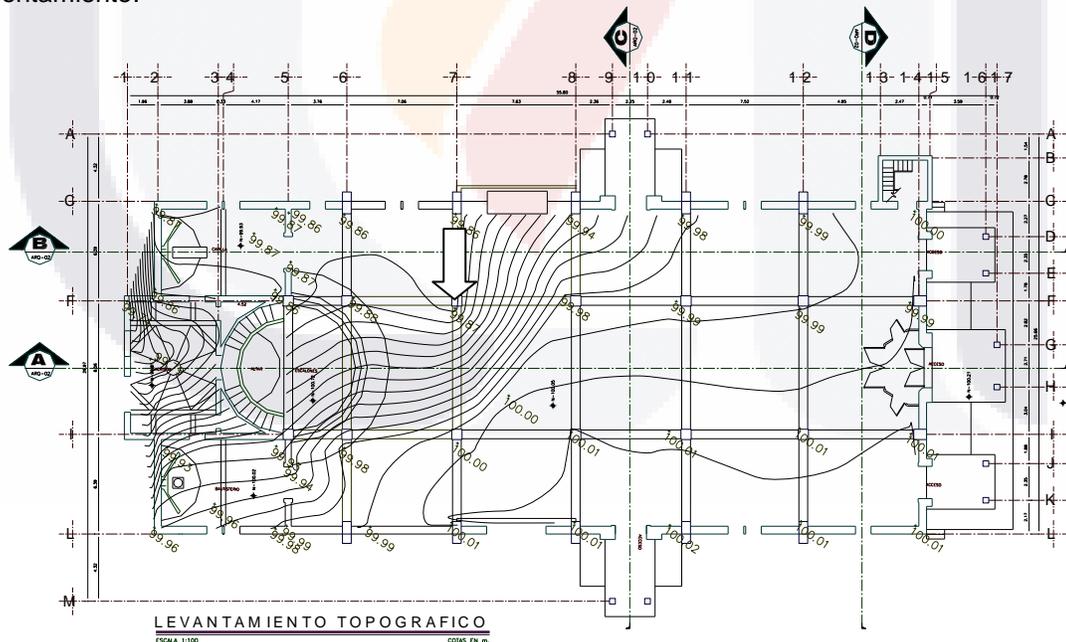


Fig. 17. Levantamiento topográfico nivelado a cada centímetro y localización de columna con mayor asentamiento.

¹³ López, V. Secretaria de Obras Públicas Estatales. Noviembre de 2008.

2.12.3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

En la figura 18¹⁴ se muestra el perfil estratigráfico del suelo que subyace a la cimentación que muestra el comportamiento de los estratos, así como el número de golpes de la prueba de penetración estándar que presentan los estratos.

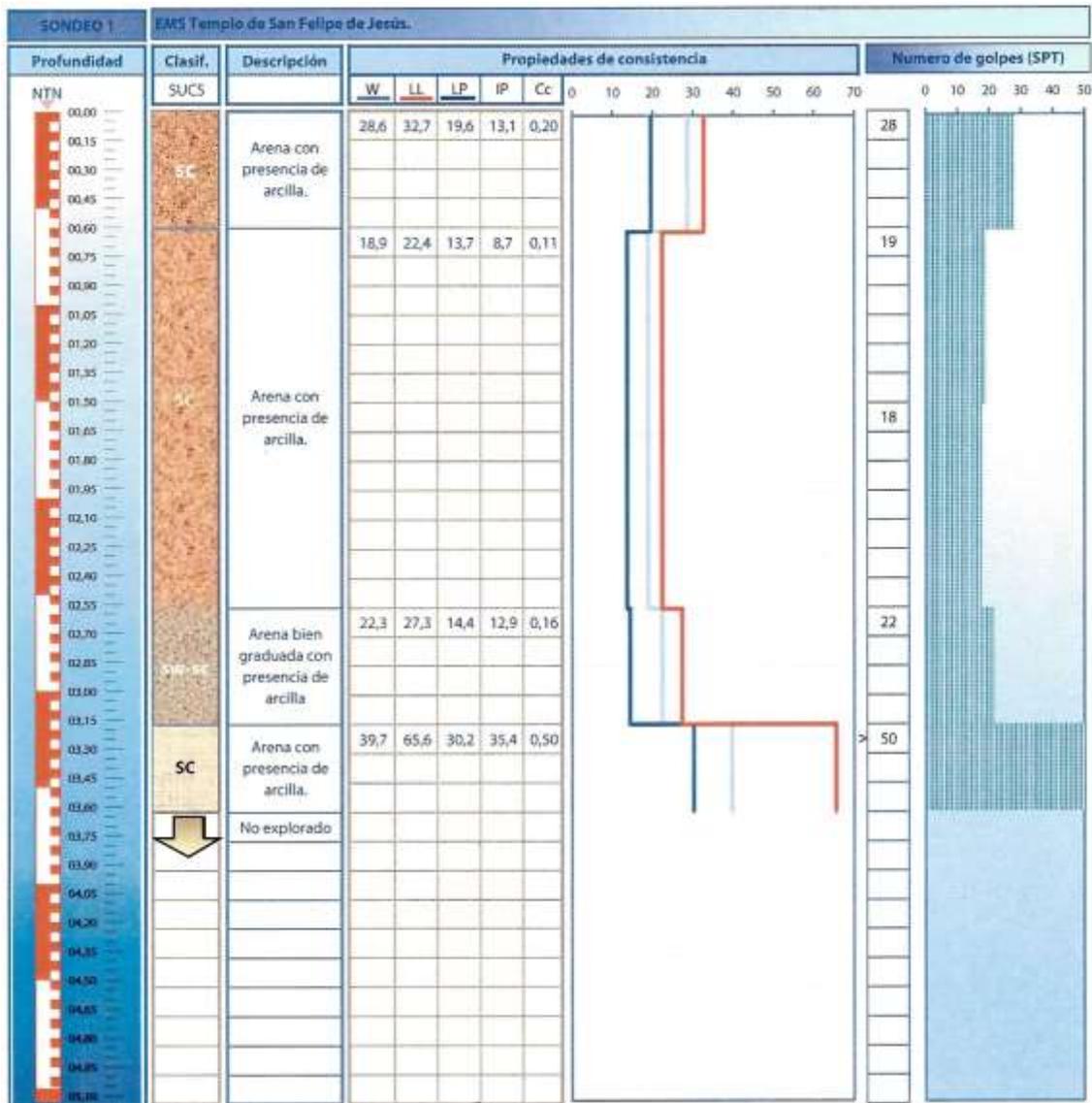


Figura 18. Perfil estratigráfico del sondeo 1.

De la figura 18, se puede observar que existe un estrato de gravas y arenas prácticamente limpias (9% de finos), de la profundidad 3.15 a 3.60 m. en estado de saturación, por otro lado, de 0.00 a 0.60 m., se observa un material de buena capacidad de carga, que explica el porqué la cimentación se desplantó tan superficialmente ya que como lo refiere Fuentes, J. “se cuenta con

¹⁴ Perfil estratigráfico, López V. Secretaria de Obras Publicas Estatales. Noviembre de 2008.

información de que hubo mucha rotación de personal de obra y cada persona construyó a su saber y entender”.

2.12.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO (Sondeo en eje F7).

La estratigrafía está conformada por cuatro estratos con las siguientes características físicas:

- ✚ En el estrato de 0.00 a 0.60 m., de acuerdo al SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), el material se clasifica como **SC (Arena con presencia de Arcillas)**, que concuerda con los estudios realizados por GEOSYC y COSOC en las áreas exteriores del templo, la granulometría en este estrato también coincide con los anteriores.
- ✚ De 0.60 a 2.55 m. de profundidad, la clasificación del SUCS, corresponde al tipo **SC** que concuerda con GEOSYC, y varía COSOC, con clasificación **SM (Arena limosa)**, lo que indica que existen diferentes tipos de materiales y espesores de estratos a lo largo del agrietamiento.
- ✚ De 2.55 a 3.15 m. corresponde a la clasificación SUCS de **SW-SC (Arena bien graduada con presencia de arcillas)**, con un porcentaje del 38% de grava, 53% de arena y un 9% de finos, lo que indica que en este estrato existe un suelo mal graduado que sufrió la pérdida de materiales finos que pudiera ser la causa del asentamiento de la columna y por consiguiente de los agrietamientos del Templo (Figs.19,20 y 21)¹⁵

2.12.5. INTERPRETACIÓN DE LA EXPLORACIÓN



Figura 19. Granulometría de estrato superior.

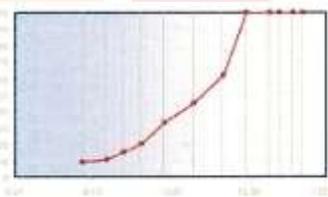


Figura 20. Granulometría del estrato inferior

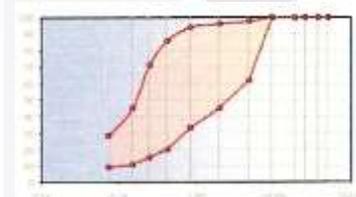


Figura 21. Pérdida de materiales entre estratos

“La existencia de fragmentos de roca, gravas (boleos riolíticos) y presencia de agua en la zona de contacto entre el tercero y cuarto estrato son indicativos de la existencia de un cauce que aún tiene corriente de agua en alguna época de cada año”.

¹⁵ López, V. Obras Públicas Estatales. (Noviembre de 2008).

2.12.6. DICTÁMEN TÉCNICO

El dictámen técnico concluye que los asentamientos que presenta la estructura del Templo, son causados por la pérdida de materiales finos del estrato de apoyo de la cimentación debidos a la existencia de un flujo de agua que se presenta entre un estrato de poca resistencia a la erosión y un estrato resistente e impermeable que se encuentra por debajo de éste.

2.12.7. RECOMENDACIONES PARA LA REPARACIÓN

Obras Públicas recomienda apoyar la cimentación sobre el estrato de mayor rigidez, por lo que propone recimentar el área dañada con el siguiente procedimiento:

Apuntalar los elementos estructurales a intervenir; Excavar alrededor de la cimentación existente llegando hasta el estrato firme con una sobre excavación de anclaje; Colar concreto de baja resistencia o ciclópeo hasta un nivel conveniente bajo la zapata existente; Nivelar la estructura por medio de gatos hidráulicos; Apuntalar y asegurar la cimentación existente contra el bloque nuevo con elementos de acero ahogados en la cimentación y finalmente renivelar con material de banco hasta el nivel de firmes.

2.12.8. CONCLUSIONES

Para quien documenta, este estudio es determinante para el planteamiento de la solución al problema de agrietamientos en el Templo San Felipe ya que propone la teoría de la existencia de un paleocauce en los estratos subyacentes a la cimentación y la existencia de un estrato firme para el apoyo de la recimentación contenida en la propuesta, respecto a la propuesta de recimentación planteada por la Secretaría de Obras Públicas, se puede comentar que el sistema resuelve el problema pero considero que sería en extremo lento y oneroso, ya que consiste en una renivelación del templo, y considerando que los arcos que se encuentran en la trayectoria de falla, presentan agrietamiento al centro de los mismos, sería éste otro punto de reparación a base de resinas epóxicas u otro método y que al presupuestar pudiera desalentar la inversión para la rehabilitación final del Templo.

2.12.9. CORRELACIÓN DE ESTUDIOS

Una vez evaluados cada uno de los estudios realizados, se procederá al análisis comparativo de los estudios Geotécnicos, Geoeléctricos y Topográficos realizados en el área del Templo, se propone la revisión, evaluación y correlación de estos con los de tipo Sísmicos y de Micro gravimetría, con el objetivo de comprobar las hipótesis de la existencia de una falla Geológica, de la existencia de un paleocauce o arroyo antiguo, de asentamiento por consolidación de materiales compresibles, por defectos en el proceso constructivo o la combinación de dos o más factores como la causa de los agrietamientos.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE ESTUDIOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez evaluados los estudios realizados, se observa que en el transcurso del tiempo, se llevaron a cabo varias investigaciones de un mismo tipo con mediciones en diferentes posiciones al interior y exterior del Templo, destacando los Geotécnicos, Geoeléctricos y Topográficos, de los que se realizará un análisis comparativo de resultados, mismos que se correlacionarán, con los de tipo Sísmicos y de Microgravimetría, con el objetivo de determinar una o más hipótesis respecto a la existencia de una falla Geológica, de un paleocauce o arroyo antiguo, de asentamiento por consolidación de materiales compresibles, por defectos en el proceso constructivo o la combinación de dos o más factores como la causa de los agrietamientos.

3.2. METODOLOGÍA

- ✚ Se analizarán los estudios del tipo Geotécnico, Geoeléctrico y Topográfico con el objetivo de evaluar si el edificio presentó algún cambios en el comportamiento del subsuelo o de la estructura y su correlación con los de tipo Sísmicos y de Microgravimetría para determinar a juicio de quien documenta, la causa real del origen del problema de agrietamientos en el Templo y en su caso presentar la propuesta de rehabilitación correspondiente.
- ✚ Llevar a cabo la discusión de los resultados obtenidos y plantear en su caso la hipótesis del fenómeno de origen del problema de agrietamientos.
- ✚ Presentar las conclusiones y comentarios finales correspondientes en torno a la factibilidad de rehabilitación estructural del Templo San Felipe con la propuesta respectiva.

3.3. ANÁLISIS DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

En primera instancia se llevará a cabo el análisis de cuatro estudios Geotécnicos realizados en diferentes períodos de tiempo por parte de la Secretaría de Obras Públicas (2), en marzo de 1999 y noviembre de 2008, los laboratorios especializados GEOSYC en mayo de 1997 y COSOC en enero de 2008, con la finalidad de evaluar la calidad de los materiales subyacentes al desplante del Templo definiendo los parámetros de capacidad de carga aplicables al modelo estructural de rehabilitación y su posterior correlación con los estudios antes mencionados.

3.3.1. SONDEOS TIPO P.C.A.

Se llevaron a cabo cuatro estudios geotécnicos a base de sondeos tipo P.C.A. (Pozo a Cielo Abierto), la mayoría de éstos en el exterior del edificio, algunos en la trayectoria del agrietamiento, otros en la periferia y dos más en el área que se considera determinante para establecer la hipótesis acerca del origen del problema.

3.3.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Se revisarán cronológicamente las propiedades físico - mecánicas de los materiales que comprenden los diferentes estratos subyacentes al desplante del edificio. A partir del resultado de la información, ésta se correlacionara posteriormente con el objetivo de evaluar la factibilidad de rehabilitación.

GEOSYC (mayo 1997)

SONDEO	ESPESOR	ESTRATO	ALTURA	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	SUCS	LL	OBSERVACIONES
1	0.95	1	1.20 - 2.15	7	50	43	SC	35	ARENA ARCILLOSA
	0.85	2	2.15 - 3.00	2	39	59	CL	41	ARCILLA INORGANICA
2	0.90	1	0.00 - 0.90	7	60	33	SM	40	ARENA LIMOSA
	0.60	2	2.00 - 2.60	15	67	18	SM	46	ARENA LIMOSA
3	0.50	1	0.70 - 1.20	7	41	42	SC	37	ARENA ARCILLOSA
	0.95	2	1.20 - 2.15	3	30	67	CL	34	ARENA INORGANICA

Tabla 5. Resultados del estudio geotécnico realizado por GEOSYC en mayo de 1997

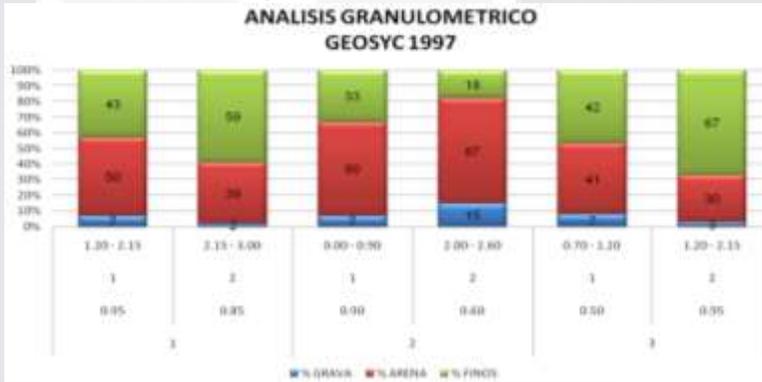


Fig.23. Gráfica de granulometría de los tres sondeos realizados a diferentes profundidades.

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS ESTATALES (Marzo 1999)

SONDEO	ESPESOR	ESTRATO	ALTURA	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	SUCS	LL	OBSERVACIONES
1	0.30	1	1.20 - 1.50	25	56	19	SM	40	ARENA LIMOSA
	0.30	2	1.50 - 1.80	27	46	27	SC	33	ARENA ARCILLOSA
	0.40	3	1.80 - 2.20	9	77	14	SC	28	ARENA ARCILLOSA
	0.26	4	2.20 - 2.46	20	72	8	SP - SC	47	ARENA ARCILLOSA MAL GRADUADA
	0.54	5	2.46 - 3.00	30	64	6	SP - SM	55	ARENA LIMOSA CON POCOS FINOS
	0.75	6	3.00 - 3.75	9	65	26	SM	47	ARENA LIMOSA
	0.70	7	3.75 - 4.45	31	54	15	SM	39	ARENA LIMOSA
	0.85	8	4.45 - 5.30	13	65	22	SM	39	ARENA LIMOSA

Tabla 4. Resultados del estudio geotécnico realizado por Obras Públicas Estatales en marzo de 1999

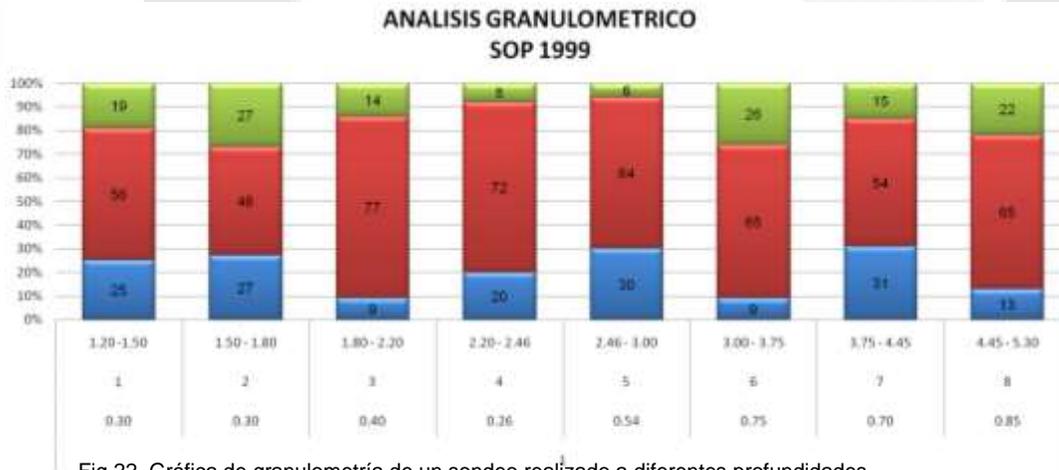


Fig.22. Gráfica de granulometría de un sondeo realizado a diferentes profundidades.

COSOC (enero 2008)

SONDEO	ESPESOR	ESTRATO	ALTURA	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	SUCS	LL	OBSERVACIONES
1	2.20	1	1.10 - 3.30	16	73	11	SM	43.5	ARENA LIMOSA
2	2.56	3	0.74 - 3.30	5	80	15	SC	40.6	ARENA ARCILLOSA

Tabla 6. Resultados del estudio geotécnico realizado por COSOC en enero de 2008

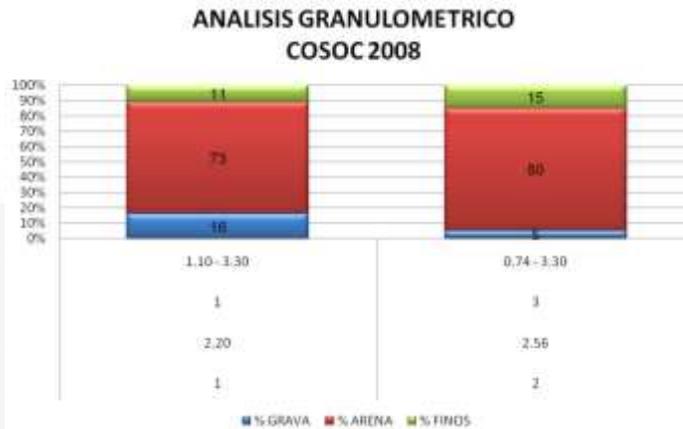


Fig.24. Gráfica de granulometría correspondiente a dos sondeos realizados a diferentes profundidades.

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS ESTATALES (Noviembre 2008)

SONDEO	ESPESOR	ESTRATO	ALTURA	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	SUCS	LL	OBSERVACIONES
1	0.60	1	0.00 - 0.60	9	57	34	SC	32.72	ARENA ARCILLOSA
	2.00	2	0.60 - 2.60	2	70	28	SC	22.40	ARENA ARCILLOSA
	0.50	3	2.60 - 3.15	38	53	9	SW-SC	27.30	ARENAS ARCILLOSAS LIMPIAS
	0.30	4	3.15 - 3.60	38	78	16	SC	65.60	ARENA ARCILLOSA MAL GRADUADA

Tabla 7. Resultados del estudio geotécnico realizado por Obras Públicas Estatales en noviembre de 2008

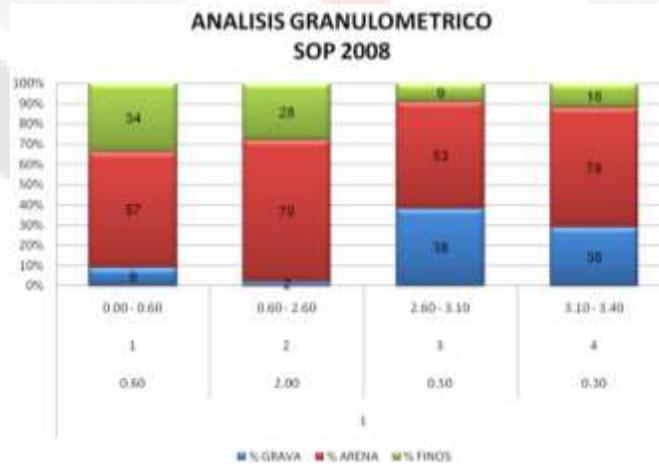


Fig.25. Gráfica de granulometría correspondiente a un sondeo realizado a diferentes profundidades.

3.4. NIVELACIONES

Se presenta el análisis comparativo de cinco nivelaciones topográficas al interior del Templo desde abril de 1998 a noviembre de 2008, realizados por Montero, L. en abril de 1998, CEAPA (Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado) en marzo de 1999, Colegio de Ingenieros Civiles en septiembre del 2000, Palacios, A. en mayo de 2008 y finalmente la Secretaría de Obras Públicas del Estado en noviembre de 2008 donde se destaca la evolución de los asentamientos en un lapso de diez años, cuyos resultados se muestran en la Fig.26, sobresaliendo los datos correspondientes a los ejes (C – F) - (5 -7), resultados que se correlacionaran en seguida.

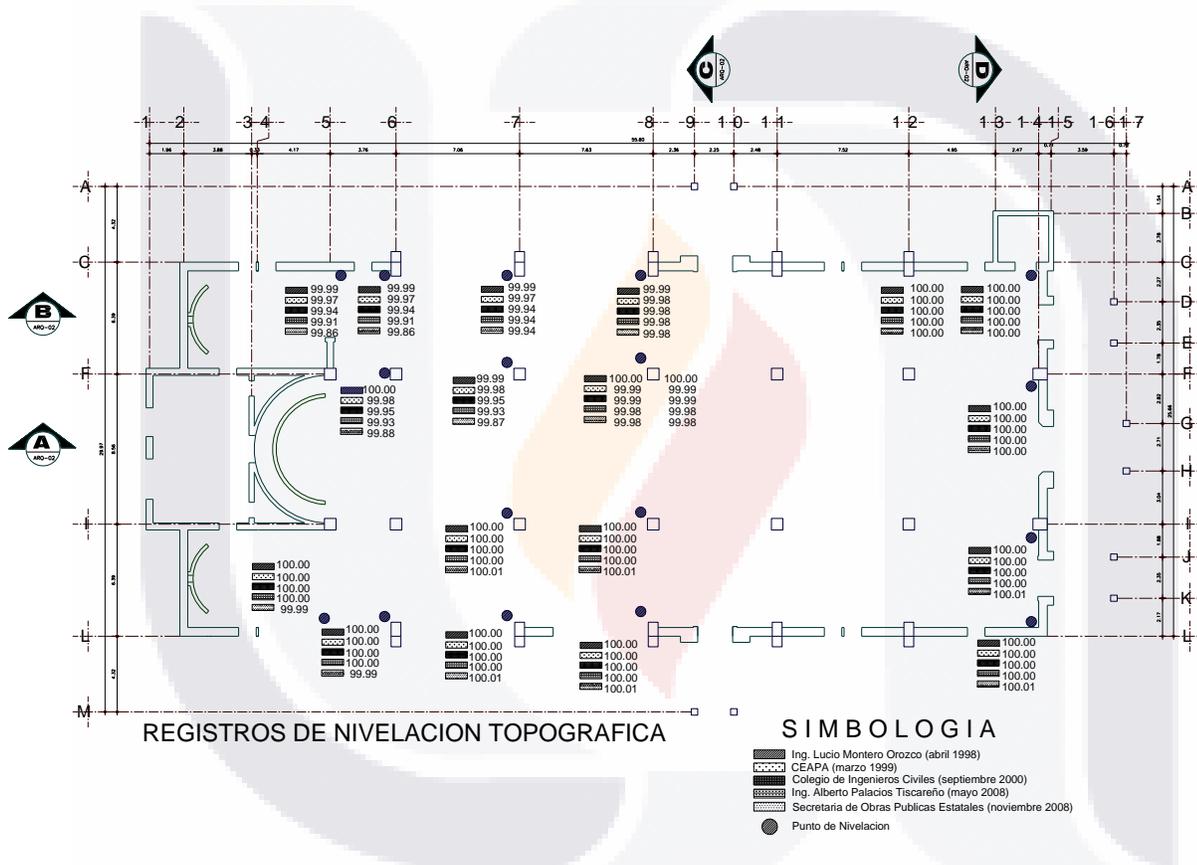


Fig. 26. Análisis comparativo de nivelaciones topográficas desarrolladas en un período de diez años.

3.5. INTEGRACIÓN DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y TOPOGRÁFICOS.

Mediante la información de los materiales que subyacen al desplante del Templo y su correlación con el estudio de la evolución de los asentamientos diferenciales, se presenta la Fig. 27, que contiene los resultados más relevantes de las características físico - mecánicas de los estratos más representativos, así como los límites líquidos correspondientes, factor determinante del estado de compresibilidad de los suelos, que proporcionarán algunos elementos de juicio en el análisis de las teorías o hipótesis planteadas.

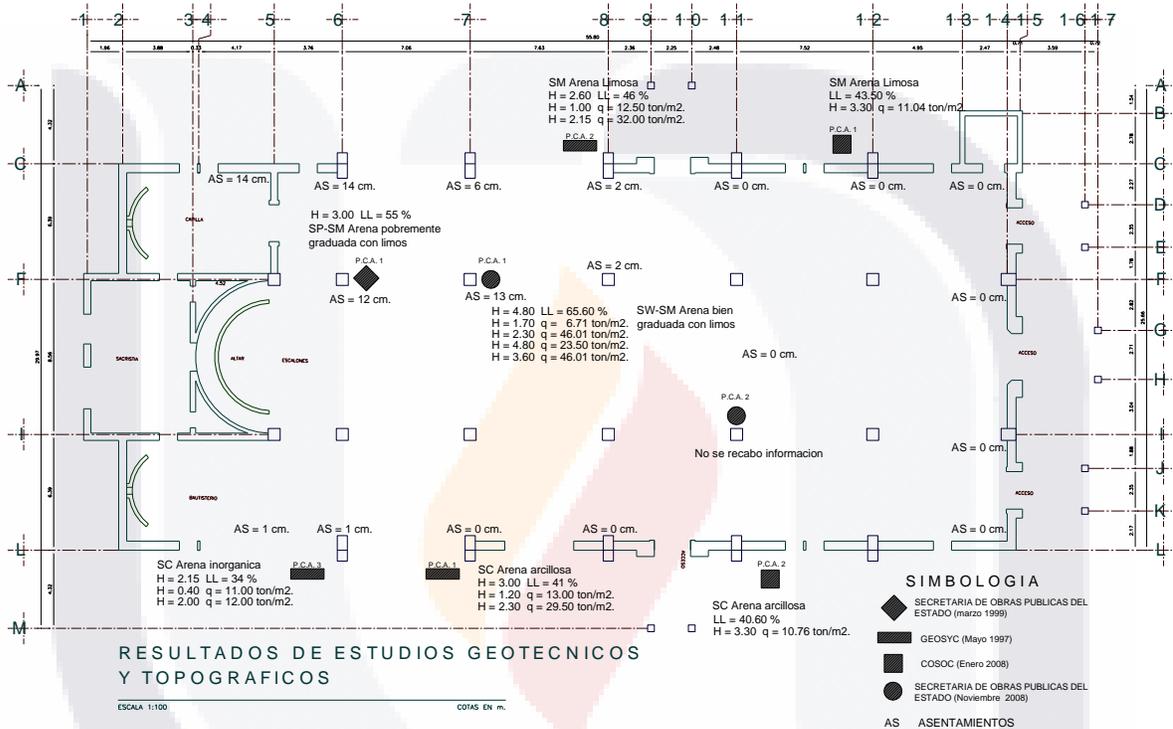


Fig. 27. Resultado de evaluación de estudios Geotécnicos y Topográficos realizados en un período de diez años.

3.5.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.5.1.1. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.

Como resultado del análisis de los estudios geotécnicos, se observa el predominio del material areno-arcilloso y areno-limoso de con limite liquido con rango de 34% a 46% en el área exterior, de los sondeos efectuados al interior, destacan los materiales con muy poco contenido de finos y alto porcentaje de limite liquido (65.60%), que indica la presencia de un arroyo o cauce de un rio como lo manifiesta López, V. (2008), “La existencia de fragmentos de roca, gravas (boleos riolíticos) y presencia de agua en la zona de contacto entre el tercero y cuarto estrato son indicativos de la existencia de un cauce que aún tiene corriente de agua en alguna época de cada año”, respecto a la capacidad de carga se observan rangos de 10.76 ton/m². a 32.00 ton/m². en el exterior y de 46.01 ton/m². al interior del Templo.

3.5.1.2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS.

De la información topográfica recabada en un período de diez años, se observa que el Templo ha sufrido asentamientos diferenciales del orden de los 14 cm. sólo en un sector del mismo y que corresponde a la parte nor - poniente, del estudio topográfico realizado por López, V., destaca la conformación de las curvas de nivel con un comportamiento concéntrico a la columna del eje F7 y por otra parte, indican el asentamiento del bloque correspondiente al altar y sacristía que pudiera estar relacionado con la existencia de un arroyo o cauce subyacente en esta zona.

3.6. ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS

Se presenta el comparativo de tres estudios Geoeléctricos realizados en diferentes años por parte Ávila, P. en diciembre de 1997, CEAPA (Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado), en marzo de 1999 y Terra Tecnología del Subsuelo en diciembre de 2007, con las mismas líneas de análisis T3 y T5 de la Fig.28 (Líneas de análisis geoeléctrico), sólo la última empresa realizó una línea al interior del templo, con la siguiente correlación de resultados.

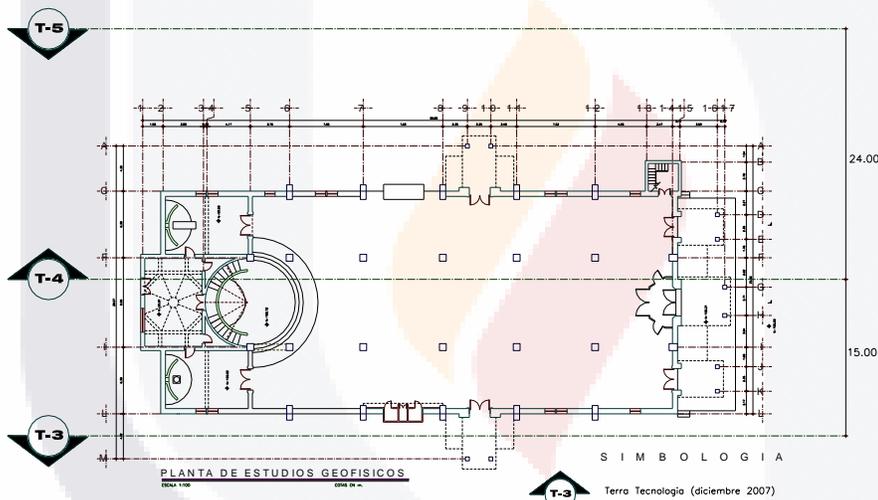


Fig.28. Líneas de análisis Geoeléctrico realizado por Terra Tecnología, CEAPA y Ávila, P.

Ávila, P. refiere la realización de dos líneas de investigación correspondientes a T3 y T-5, cuyos resultados fluctúan entre 10 y 20 ohm/m., los registros más altos fueron del orden de los 50 ohm/m., correlaciona los registros eléctricos de diferentes pozos de la ciudad y de acuerdo a las lecturas según el tipo de suelo, establece que las lecturas de 2.5 a 20 ohm/m. corresponden a las arcillas y de 21 a 50 ohm/m. se asocian a las arenas y finalmente establece que los registros de las lecturas correspondientes a una falla geológica, se disparan a varios centenares de ohm/m.. Por su parte CEAPA y Terra Tecnología, coinciden en lo parámetros de las lecturas presentadas por Ávila, P. Finalmente, se presenta la superposición del Templo sobre los estudios Geoeléctricos de Terra Tecnología y los valores de resistividad de CEAPA. (Figs. 29, 30 y 31). Respectivamente.

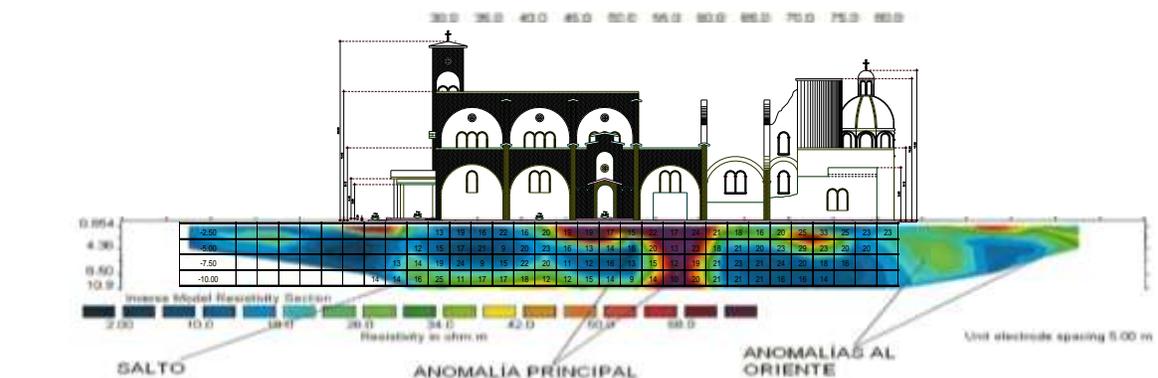


Fig. 29. Corresponde a la calle Santa Irene y contiene la superposición del Templo San Felipe con los estudios geofísicos y lecturas de resistividad en la que sea aprecia la variación de materiales a lo largo del inmueble denotando que en la zona de colores rojo a magenta, corresponden a materiales compactos congruentes con los estudios geotécnicos.

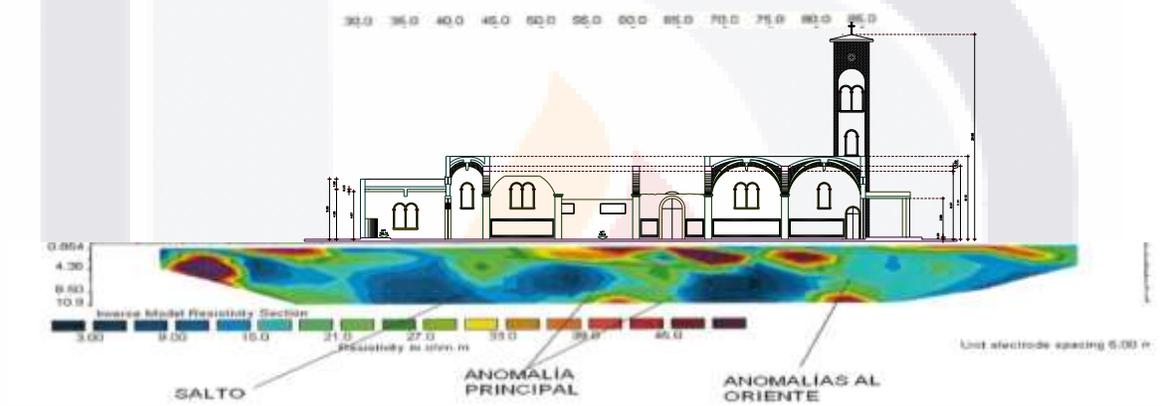


Fig.30. Corresponde al área interior del templo, donde destaca la variación de resistividad a lo largo del desplante del Templo resaltando el rango de los 50 m. donde se aprecia que en la superficie, se localiza un material firme y por debajo de éste, se encuentra uno de baja resistividad que asociado con los estudios geotécnicos, se presenta como un probable cauce o arroyo.

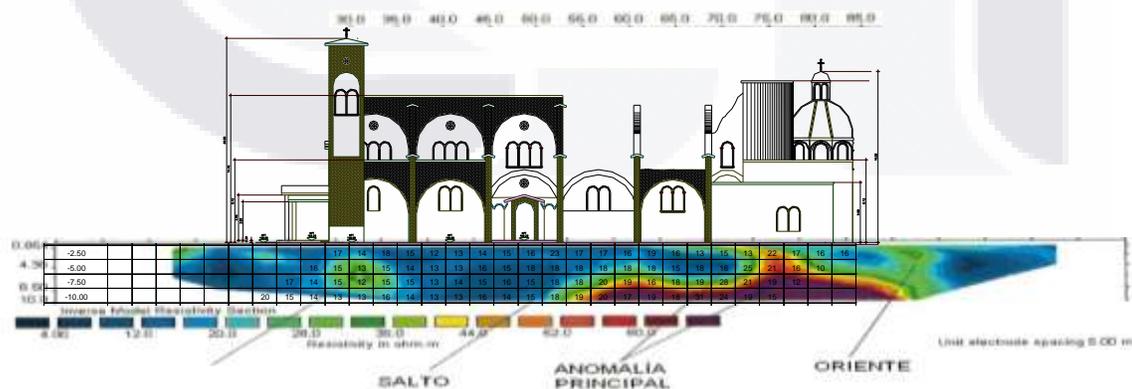


Fig.31. Corresponde a la calle San Felipe, donde se observa el predominio de materiales con resistividades relativamente bajas 10 a 20 ohm/m., correspondientes a materiales arcillosos y en el rango de los 50 a 80 m. se registran materiales resistentes con un punto en la cota 70, que de acuerdo el análisis topográfico, corresponde al área donde se presentan los mayores asentamientos.

3.7 ESTUDIOS SÍSMICOS

Se presenta la superposición a escala del Templo San Felipe sobre los perfiles sísmicos con el objetivo de correlacionar los resultados de los estudios geotécnicos, geofísicos y topográficos. (Figs.32, 33 y 34)¹⁶, en los que los tonos rojos a naranja, representan materiales de poca compacidad y deformables que concuerdan con los resultados de los estudios geotécnicos, los tonos amarillo a verde indican materiales con mejores condiciones y se observa que en esta sección se ubican a una profundidad de 10 m. aproximadamente, sin embargo a la fecha en los estudios topográficos no presentan asentamientos

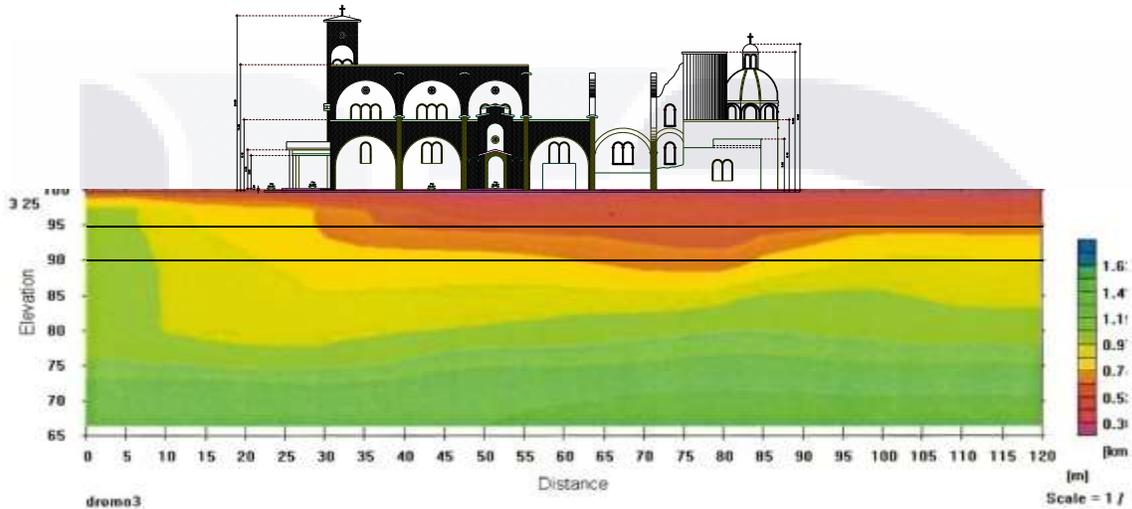


Fig. 32. El perfil corresponde a la calle Santa Irene y en el rango de de los 65 a 85 m. se aprecia la existencia de lo que pudiera interpretarse como el cauce de un arroyo.

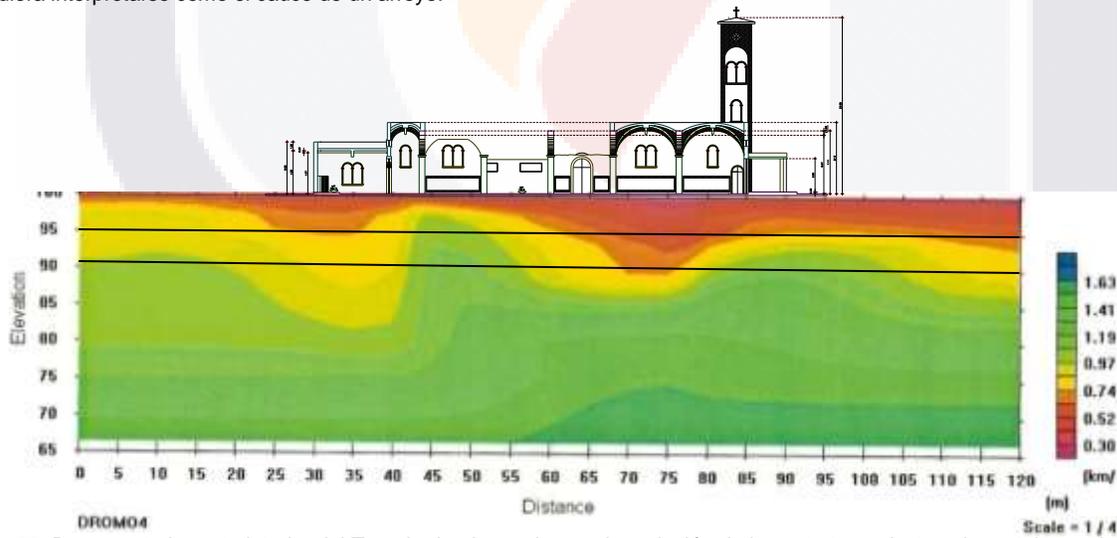


Fig. 33. Representa la parte interior del Templo donde se observa la variación de los estratos y destaca la protuberancia en el rango de los 40 a 55 m. que asociado a los asentamientos de la parte nor - poniente del inmueble, esta pudiera haber contribuido a los agrietamiento.

¹⁶ Perfiles sísmicos elaborados por Terra Tecnología (2008).

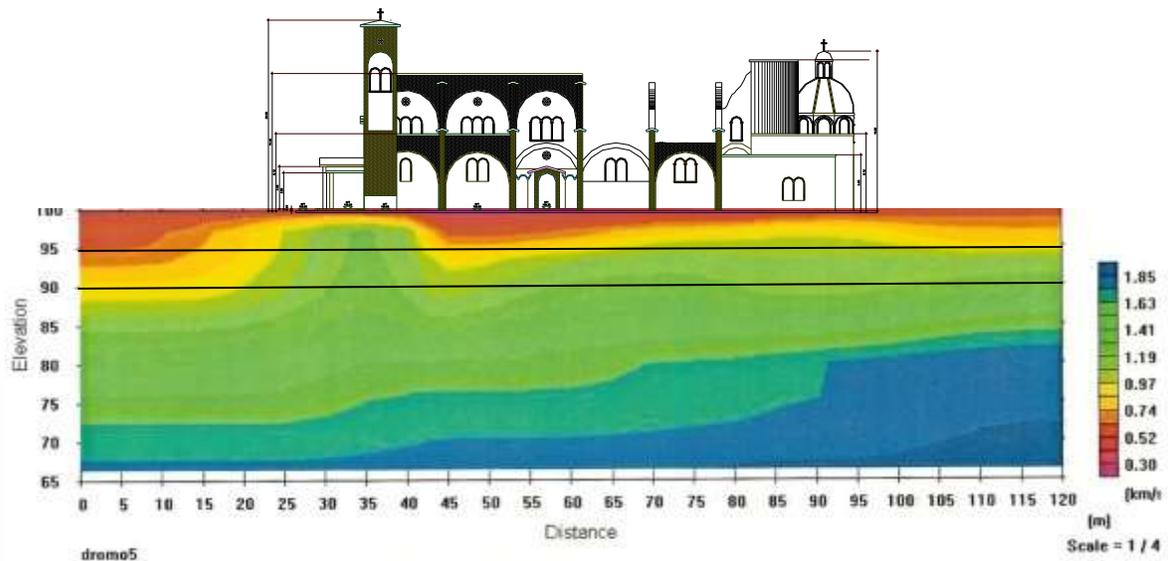


Fig. 34. Corresponde a la calle San Felipe en la que se observa la uniformidad de los estratos y la disminución de la capa de materiales deformables.

3.8. ANÁLISIS MICROGRAVIMÉTRICO

Como parte complementaria, se presenta la correlación de los estudios anteriores con el de microgravimetría realizado por la Universidad Autónoma de Querétaro (Fig.35), en los que se plantea el análisis de las líneas de estudio P1, P2, y P3 (Figs. 36 y 37)¹⁷, con el objetivo de detectar la existencia de un cauce que como lo indican varios de los estudios, cuyos agrietamientos pudieran estar asociados al mismo y no a la existencia de una falla geológica.



Fig. 35. Líneas de análisis tendientes a verificar la existencia de un cauce en el que la línea P1 corresponde a la calle Carlos Sagredo, P2 a la calle Pedro García Rojas, P3 a la calle Rafael Arellano

¹⁷ Líneas de estudio de microgravimetría elaboradas por la UAQ (2000).

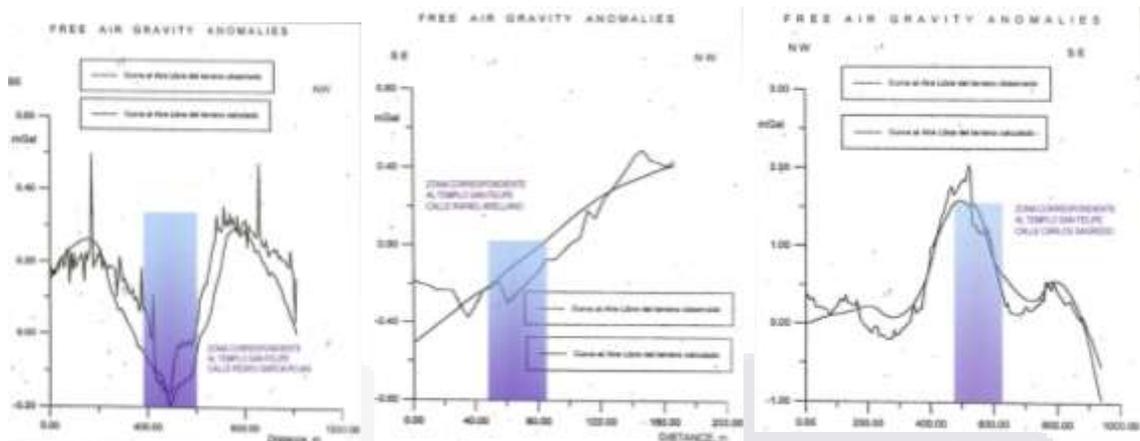


Fig.36. Las franjas en tono azul, corresponden al área transversal que ocupa el Templo y donde se observa principalmente en la calle Pedro García Rojas, lo que aparenta ser un cauce, en la calle Rafael Arellano y Carlos Sagredo se aprecia la conformación del mencionado cauce, cabe aclarar que la escala vertical de las imágenes, varía por lo que las crestas y valles aparecen de una forma muy pronunciada.

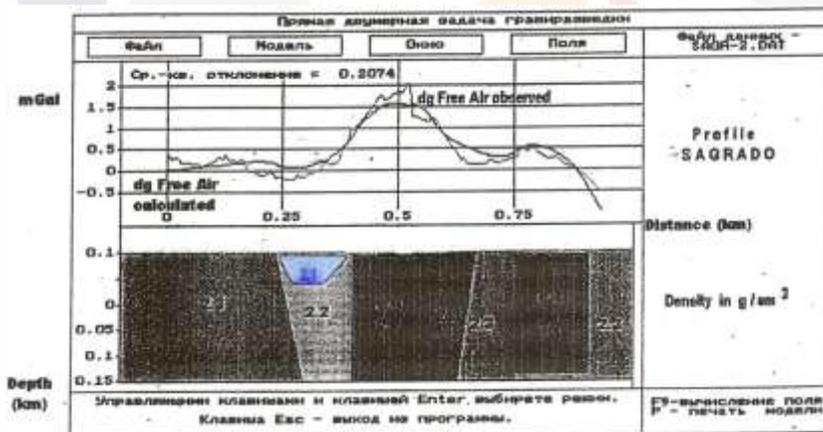


Fig. 37¹⁸. En el perfil de microgravimetría de la calle Carlos Sagredo, aparece en tono azul a una profundidad relativamente superficial el cauce de un arroyo que aporta información contundente para confirmar la teoría de Ávila, P. y por lo que se puede concluir que la rehabilitación del Templo se considera factible.

¹⁸ Perfil de microgravimetría elaborado por la UAQ (2000).

3.9. DISCUSIÓN SOBRE LOS ESTUDIOS REALIZADOS

Existe una gran diversidad de estudios realizados a lo largo del tiempo desde que se presentó el fenómeno de agrietamientos en el Templo San Felipe, con diferentes posturas, dictámenes y recomendaciones, que a continuación se resumen:

- ✚ El laboratorio GEOSYC llevó a cabo el primer estudio geotécnico que se enfocó en la obtención de las propiedades físico - mecánicas del suelo en base a sondeos del tipo P.C.A. con la conclusión de que las características físicas obtenidas, corresponden a rellenos aluviales de arenas limosas y arenas arcillosas relacionados a márgenes de ríos o arroyos de cauce divagante.
- ✚ El Ing. Geólogo Pedro C. Ávila afirma que el comportamiento de los agrietamientos del Templo siguen un patrón irregular, distinto al de una falla geológica ya que en el muro sur se observaron agrietamientos con inclinación aproximada de 80° y en el lado norte del orden de los 30° y que no se observan hundimientos del terreno colindante, que los daños del Templo se deben a deficiencias en la construcción, derivado del estudio Geoeléctrico, concluye que de acuerdo a las lecturas de resistividad, éstas fluctúan entre 10 y 20 ohm/m. y algunas del orden de 50 ohm/m., valores que correlacionados con registros eléctricos de pozos de la ciudad, corresponden a arcillas y arenas características de cauces de arroyos, comparando dichas lecturas, hace referencia que en donde se han detectado fallas reales, éstos se disparan hasta varios centenares de ohm/m., por lo que **concluye que no existe tal falla y que la rehabilitación es factible.**
- ✚ El Ingeniero Lucio Montero Orozco, realizó dos dictámenes periciales del estado estructural del Templo en los que sostiene que la causa de los agrietamientos es debido al excesivo abatimiento de los mantos acuíferos y se basa en un estudio realizado por especialistas del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. recomendando el apuntalamiento de cúpulas ante la posibilidad de colapso y posteriormente la clausura del Templo proponiendo la demolición de las áreas afectadas. Los dictámenes realizados por el Ingeniero Lucio, carecen de fundamentos estructurales para determinar la inminencia de colapso ya que siendo especialista en estructuras no presentó un análisis numérico del estado de la estructura, por lo que considero que dichos dictámenes carecen de solidez.
- ✚ CEAPA (Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado), realizó un estudio Geoeléctrico a base de dos líneas de medición sobre las calles San Felipe y Santa Irene, coincidiendo con los valores del estudio de Ávila, P., correlacionando el estudio Geoeléctrico con información geohidrológica, concluye que existen tres pozos cercanos al Templo, (Altavista, El Carmen y Panorama), con profundidades que van desde 200 a 500 m. y niveles dinámicos de 150 m. y que la aparición de grietas o fisuras se debe a la compactación excesiva del sistema acuífero del valle de Aguascalientes que resulta en un apreciable hundimiento de los sedimentos aluviales.
- ✚ La U.A.Q. sugiere que existe una falla a una profundidad considerable y que se construya en otra parte un nuevo Templo, sin embargo menciona que existe una relación directa entre las fallas, la conformación estratigráfica y los cauces, que el área es propicia para la conformación de dichos cauces.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- ✚ La Universidad Autónoma de Aguascalientes presentó un modelo de análisis tridimensional en el que se demostraba que aún cuando se tuvieran asentamientos del orden de los 20 cm. el edificio no presentaba posibilidades de colapso como lo afirmó Montero, L. y finalmente propuso la liberación de las estructuras.
 - ✚ El día 3 de febrero de 2005 se elaboró el dictámen definitivo del Grupo Técnico Multidisciplinario en el que se determinó la demolición de las áreas afectadas por los agrietamientos en base a un programa de demoliciones presentado por el Colegio de Ingenieros Civiles, dicho dictámen no tomó en cuenta el estudio realizado por la Universidad Autónoma de Aguascalientes, que considero de mucha importancia, ya que demuestra con un análisis numérico el comportamiento de la estructura liberada en las condiciones de carga al momento del estudio.
 - ✚ De los perfiles Geoeléctricos se concluye que las anomalías coinciden con la trayectoria del agrietamiento interno y se manifiesta entre los 55 y 80 m., además sugiere la presencia de un cauce, respecto a los perfiles sísmicos, se resume que en la trayectoria del agrietamiento, existe material de baja resistividad con pérdida de cohesión y un aparente escalón en el área.
 - ✚ El estudio geotécnico realizado por el laboratorio COSOC en 2008, consistió en la realización de 2 sondeos a cielo abierto (P.C.A.), que se localizaron en las áreas exteriores de las calles San Felipe y Santa Irene respectivamente aportando las propiedades físico - mecánicas del suelo con los resultados similares a los de GEOSYC en 1997.
 - ✚ Finalmente en octubre de 2008 se integró la Mesa Temática organizada por el Comité de Grietas del Estado de Aguascalientes a través de la SEPLADE (Secretaría de Planeación y Desarrollo), del Estado, con la finalidad de realizar un dictámen definitivo respecto al mecanismo de falla del agrietamiento en el Templo San Felipe, se le solicitó a la Secretaría de Obras Públicas Estatales su participación para comprobar la hipótesis de Ávila, P. con el fin de elaborar un proyecto definitivo de rehabilitación, con los resultados más contundentes a mi juicio, ya que éstos se llevaron a cabo en el interior, concretamente en una de las columnas que presentó el mayor asentamiento. El dictámen técnico concluye que los asentamientos que presenta la estructura del Templo, son causados por la pérdida de materiales finos del estrato de apoyo de la cimentación debidos a la existencia de un flujo de agua que se presenta entre un estrato de poca resistencia a la erosión y un estrato resistente e impermeable que se encuentra por debajo de éste.

3.10. CONCLUSIÓN

La mayoría de los estudios hacen referencia a la existencia de un antiguo cauce en los estratos subyacentes a la cimentación, teoría presentada por el Ingeniero Geólogo Pedro Carlos Ávila Ramírez en diciembre de 1997, que se comprueba en la correlación geotécnica, topográfica, geoelectrica, microgravimétrica y contundentemente en el último estudio realizado por la Secretaría de obras Públicas en noviembre de 2008, por lo que se puede concluir que **“la rehabilitación estructural del Templo San Felipe es factible”**.

Cabe mencionar que no se deben dejar a un lado las conclusiones de otras Dependencias, Laboratorios y Especialistas en las diferentes disciplinas, respecto al origen de los agrietamientos, ya que en caso de que dicha rehabilitación se apruebe por parte de la Dependencia de Gobierno correspondiente, se deberá trabajar de manera conjunta Ingenieros Civiles, Geofísicos, Geólogos, y Peritos en las diferentes áreas, es decir se deberá integrar o dar continuidad a un Grupo Multidisciplinario con ganas de resolver el problema del Templo San Felipe.

Una vez demostrada la factibilidad de rehabilitación, se presenta el proyecto integral que va desde el levantamiento de los estados Arquitectónico y Estructural, llevando a cabo los estudios complementarios para la integración de un modelo estructural de análisis en base al software de diseño RAM ADVANSE, en el cuál se revisará la propuesta de integración del Templo a base de perfiles metálicos comerciales y el diseño de piezas especiales, hasta llegar a un estado de análisis estructural satisfactorio, además, derivado de los resultados de los elementos mecánicos, se propone revisar una propuesta de recimentación a base de micropilotes que se desplantarán en el estrato firme para dar estabilidad y seguridad estructural al Templo.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA ESTRUCTURAL DE REHABILITACIÓN

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se presenta la propuesta estructural de rehabilitación en base a la determinación de los datos necesarios para la integración de un modelo tridimensional de análisis, que se revisará mediante el software RAM ADVANSE, para lo cuál se considera necesario conocer la resistencia a la compresión simple de los elementos de concreto existentes en el Templo San Felipe.

4.2. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

Una vez analizada la información de los estudios realizados a la fecha, se consideró necesario realizar trabajos complementarios para integrar el modelo estructural y que consiste en la obtención de la resistencia a la compresión simple del concreto en el Templo San Felipe con el método no destructivo denominado Esclerómetro, que a continuación se presenta.

4.3. RESISTENCIA DE CONCRETO POR MEDIO DE LA PRUEBA DEL ESCLERÓMETRO

De acuerdo a la propuesta del Trabajo Práctico, se plantea la necesidad de conocer la resistencia de los elementos de concreto (columnas y arcos), para poder realizar el análisis estructural del Templo en el estado actual y la propuesta objeto de este trabajo; Se propone el método no destructivo denominado "Esclerómetro", cuyo procedimiento está determinado por la Norma Mexicana NMX-C-192-ONNCCE-2006 (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación).

4.3.1. Norma NMX-C-192-2006

La Norma Mexicana NMX-C-192-ONNCCE-2006, establece el procedimiento para determinar el índice de rebote en el concreto endurecido mediante el empleo del dispositivo conocido como esclerómetro o martillo de rebote, para evaluar la uniformidad superficial del concreto comparándolo con un concreto de resistencia conocida.

4.3.2. Preparación y Acondicionamiento de las muestras.

La zona de prueba debe tener por lo menos 150 mm de diámetro y 100 mm de espesor, para evitar lecturas erróneas debido a la elasticidad de las piezas. Todos los elementos sueltos deben fijarse rígidamente para efectuar la prueba. Deben elegirse las superficies de prueba de acuerdo a la representatividad del área a evaluar, en función de sus oquedades, desconchamientos, alta porosidad o textura rugosa. Cuando se desean comparar las características de dos elementos, éstos deben tener aproximadamente la misma edad y condiciones de humedad. Antes de la prueba debe eliminarse de la superficie la pintura, polvo o cualquier elemento no propio del

concreto que pueda afectar el índice de rebote. Cuando la superficie tenga irregularidades debidas a cimbras de madera no cepilladas, esta debe ser pulida con la piedra abrasiva hasta dejarla lisa.

4.3.3. Condiciones ambientales.

Este método de prueba se realiza de acuerdo a las condiciones ambientales del lugar que se realice la prueba.

4.3.4. Procedimiento.

Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular sobre la superficie del concreto que se va a evaluar y se ejerce una presión para permitir que el émbolo se libere y se deja que se extienda hasta alcanzar su máxima extensión, eliminando la presión sobre el martillo, manteniendo la perpendicularidad y la presión uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie del concreto. Después del impacto se oprime el botón pulsador y se toma la lectura en la escala graduada, registrándola, esta operación se debe repetir diez veces como mínimo y con una separación entre impactos de 25 mm a 50 mm. (Figs. 43 y 44).

4.3.5. Cálculo y expresión de los resultados.

Se determina el promedio de las lecturas. Si más de tres lecturas difieren del promedio en seis o más unidades, se desecha la prueba. Se eliminan las lecturas que difieran del promedio en más de cinco unidades. Se determina el promedio de las lecturas restantes, siendo éste el número de rebote.

4.3.6. Precisión

Al momento de revisar la norma, no se contó con datos necesarios para establecer la precisión del método. En este trabajo, se recopilaron lecturas de una obra en proceso con 56 días de edad que se aplicarán para realizar la comparativa con los del edificio objeto del análisis. Considerando que éste tiene mucho más tiempo de construido, se propone este método para determinar la resistencia de los elementos de concreto y proceder al análisis estructural definitivo.

4.3.7. Informe de la prueba

Debe incluir los siguientes datos:

- ✚ Identificación de la estructura
- ✚ Localización de la superficie de prueba
- ✚ Numero de rebote promedio para cada superficie de prueba
- ✚ Tipo de dispositivo y número de serie

Además si se conocen

- ✚ Composición del concreto: Agregados, contenido de cemento, relación agua-cemento, contenido de aire, aditivos empleados, y otros.
- ✚ Revenimiento de diseño y obtenido
- ✚ Resistencia de diseño
- ✚ Edad del concreto

- ✚ Condiciones de curado y cualquier otra condición no usual relacionada con la superficie de prueba.

4.3.8. Mantenimiento y calibración

Los martillos de rebote requieren ser revisados y verificados periódicamente, o cuando exista una razón para dudar de su funcionamiento adecuado.

4.3.9. Aclaraciones

- ✚ Cuando se realizan pruebas sobre barras de refuerzo con recubrimiento menor de 20 mm, el número de rebote es alto.
- ✚ Los concretos secos dan un número mayor de rebote más alto que los húmedos.
- ✚ Las superficies aplanadas con llanas generalmente manifiestan un índice de rebote más alto que las superficies ásperas o con acabado poroso. Si es posible las losas estructurales deben ser probadas de abajo hacia arriba, para evitar superficies acabadas. De ser posible se deben evitar superficies terminadas en elementos, ya que los acabados modifican el número de rebote.
- ✚ El concreto a una temperatura de 273 K (0 °C) o menor, puede presentar un índice de rebote muy alto, por lo que para realizar, el concreto debe descongelarse y esperar 24 hs a una temperatura de 5 °C.
- ✚ La temperatura del martillo de rebote, por sí misma, puede afectar el índice de rebote.
- ✚ Las lecturas que van a ser comparadas, deben corresponder a pruebas efectuadas a la misma dirección de impacto: horizontal, vertical, hacia arriba, hacia abajo o inclinadas con el mismo ángulo.
- ✚ Martillos diferentes del mismo diseño nominal pueden dar índices de rebote diferentes, por lo que las pruebas debe efectuarse con el mismo martillo, a fin de comparar resultados. Si se emplea más de un dispositivo, deben efectuarse un número suficiente de pruebas.

4.3.10. EQUIPO

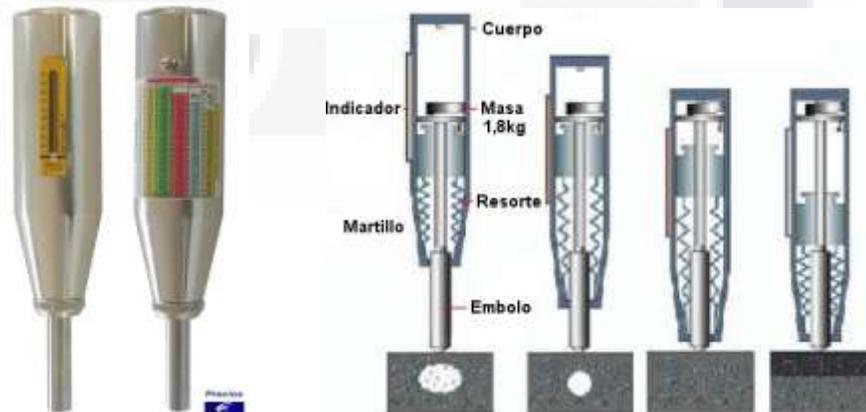


Figura 38. Esclerómetro PCE-HT-225.

4.3.11. DESARROLLO DE LA PRUEBA

Localización de las estructuras:



Figura 39. Ubicación del Edificio Académico de la Universidad Autónoma de Aguascalientes

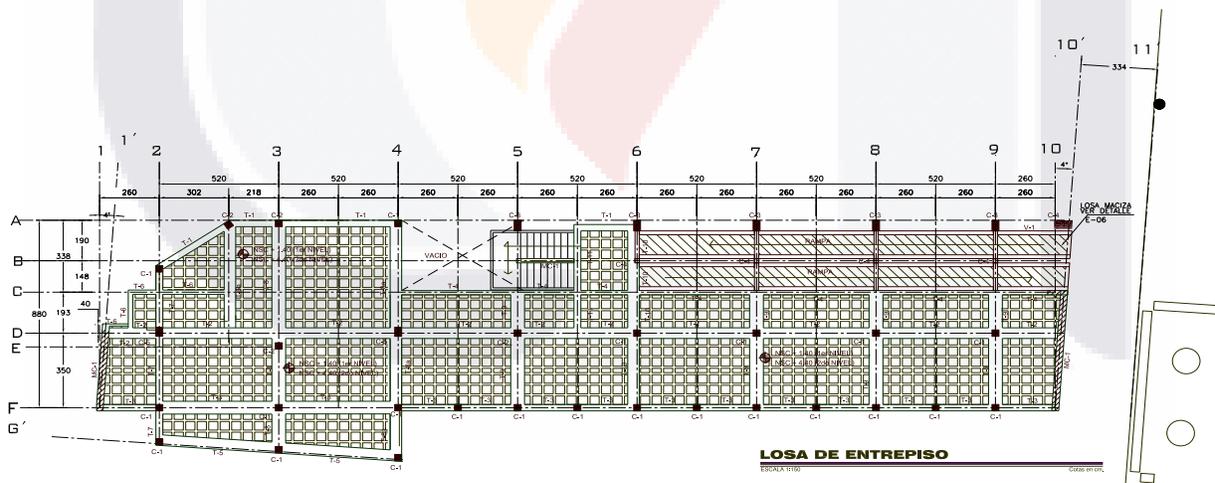


Figura 40. Estructura del Edificio Académico de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.



Figura 41. Ubicación del Templo San Felipe.

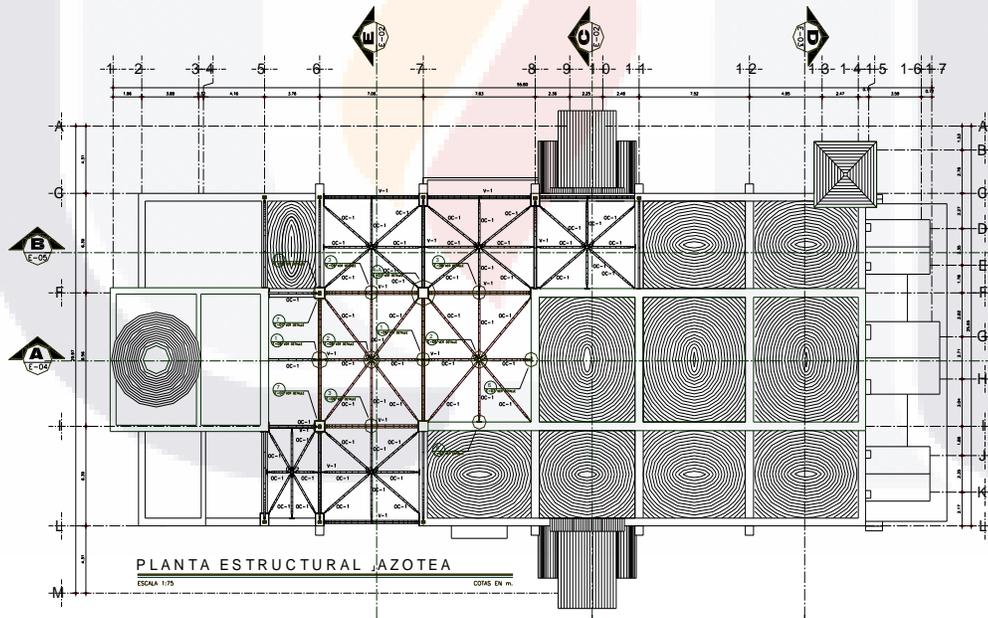


Figura 42. Estructura del Templo San Felipe.

4.3.12. LOCALIZACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PRUEBA

En este caso, se tomó como muestra los resultados a 56 días de las columnas de planta baja del edificio denominado Edificio Académico del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción ubicado en la Universidad Autónoma de Aguascalientes. para comparar dichos resultados con los de la estructura del templo San Felipe y tener un parámetro para realizar el análisis estructural actual y poder determinar las acciones a seguir para la rehabilitación.

4.3.13. DATOS DEL EDIFICIO ACADÉMICO Y TEMPLO SAN FELIPE

Se muestrearon 8 columnas con 16 lecturas de cada una en las dos obras de referencia para obtener el promedio representativo de la resistencia a la compresión simple del edificio académico del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción y del Templo San Felipe (los datos de la prueba, se presentan en el apéndice A), con lectura de índice de rebote promedio de 36.9 y 39.9 respectivamente que correlacionando con los datos del laboratorio corresponde a 270 kg/cm².

4.3.14 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

Se selecciono el área donde se aplicara el método procediendo a limpiar la superficie con la piedra abrasiva, posteriormente, marcar una retícula de 16 espacios de 1" X 1" en la superficie donde se realiza la prueba de rebote con el esclerómetro (Figuras 43 y 44).



Figura 43. Limpieza de la superficie CCDC.



Figura 44. Aplicación de la prueba CCDC.

4.3.15. PRUEBA APLICADA EN EL TEMPLO SAN FELIPE.



Figura 45. Limpieza de la superficie San Felipe.



Figura 46. Aplicación de la prueba San Felipe.

La figura 6 del apéndice B, muestra los valores correspondientes que se deberán utilizar en unidades PSI según la forma de aplicar el método. De acuerdo a la norma, se debe utilizar la misma posición en ambas obras al efectuar las pruebas.

4.3.16. CONCLUSIÓN

De acuerdo con los datos obtenidos en el Templo San Felipe, se obtuvo un promedio de 39,9 que correlacionado a los resultados del edificio Académico del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, correspondiente a 270 kg/cm². lo que nos indica que el concreto que se empleó en esta construcción fue de una calidad dentro de la norma para este tipo de edificaciones.

Cabe mencionar que la prueba recomienda que las comparativas de los concretos sean a la misma edad del concreto, sin embargo para éste caso se tienen concretos de diferentes edades, por lo que se propone manejar como dato 250 kg/cm². para el diseño estructural correspondiente.

4.4. PROPUESTA ESTRUCTURAL

4.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Derivado de los resultados complementarios y la definición de los factores que intervendrán en la propuesta de rehabilitación estructural, se procede al análisis estructural utilizando el software de análisis estructural RAM ADVANSE, del que sólo se presentan algunos resultados de la carga gobernante (Carga muerta + Carga viva) bajo la norma de diseño ASD, y que consiste en lo siguiente:

4.4.1.1. Cimentación.

Se reforzarán las columnas de los arcos centrales que presentan asentamientos diferenciales con zapatas aisladas de 2.85X2.85 m. de base y 0.32 m. de peralte, apoyadas sobre micropilotes de concreto reforzado de 0.30 m. de diámetro, desplantados hasta el terreno firme, así como la ampliación de los dados de concreto existentes con sección trapecial, de 0.61X0.61 m. de corona y 1.15X1.15 m. de base, que actualmente funcionan como dado y zapata aislada y que no cuentan con contratrabe de liga, la ampliación del dado será de 1.35X1.35 m. escarificando la superficie del concreto hasta lograr la rugosidad necesaria para la adherencia de los concretos, anclaje de armado nuevo con varilla corrugada y químicos con la finalidad de aumentar el área de contacto y disminuir los esfuerzos transmitidos hacia el suelo; contratraves de concreto reforzado de 0.30x0.60 m. de sección para rigidizar la cimentación y disminuir los posibles asentamientos diferenciales.

4.4.1.2. Estructura.

Se realizará la demolición de los arcos afectados, dejando libre las columnas de concreto de 0.61X0.61 m. Para recibir las placas metálicas en acero A-36 y complementando la sección con festergROUT. Arcos a base de estructura metálica IPR de 18"X52.20 kg/m. y tubo de 4" 40E X 16.08 kg/m. con un extremo empotrado y el otro articulado. Todo esto para forjar las cúpulas que se cubrirán con lona estructural.

4.4.1.3. Muros.

Los muros se consideran como no estructurales.

4.4.2. PROPUESTA DE ESTRUCTURACIÓN Y MODELO DE ANÁLISIS.

Se propone una estructura metálica a base de IPR con un extremo empotrado y el otro articulado con la misma curvatura de los arcos de concreto y tubo de 4" como nervaduras para forjar las cúpulas con la misma altura que los existentes, articulados en los dos extremos para permitir los posibles desplazamientos tanto verticales como horizontales (Fig.47), tomando estas consideraciones en el modelo estructural que se revisarán mediante el software de análisis Ram Advance (Figs. 48 y 49), del que sólo se presentarán los elementos más representativos de dicho análisis estructural así como las propiedades de los materiales.

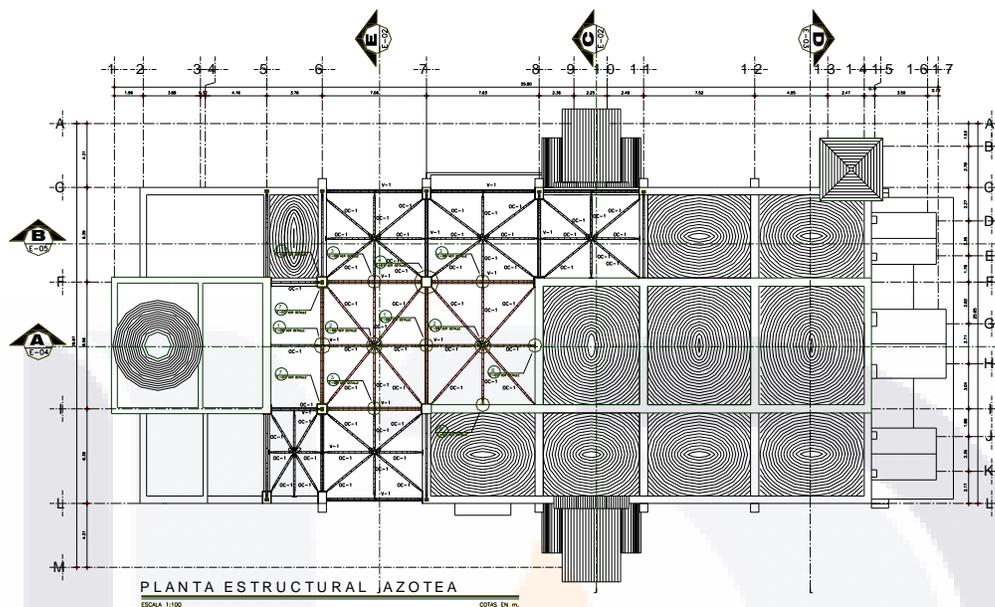


Fig.47. Planta estructural de rehabilitación.

4.4.3. MODELO DE CONJUNTO



Fig.48. Modelo tridimensional vista aérea

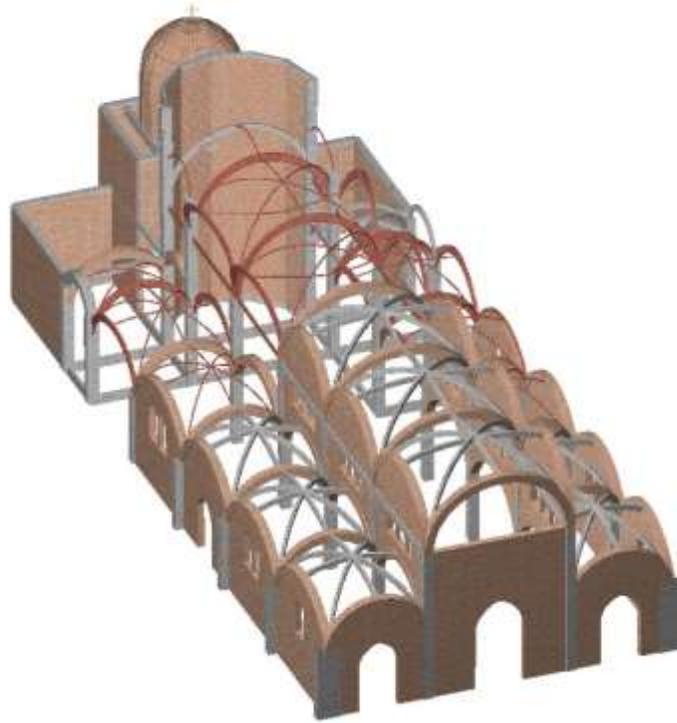


Fig.49. Modelo tridimensional vista en perspectiva.

4.4.4. CRITERIOS GENERALES DE CÁLCULO

La estructura se resolvió en base a lo siguiente:

4.4.4.1. Análisis Estructural.

Se efectuaron análisis elásticos de segundo orden (P-Delta) para la obtención de elementos mecánicos en marcos y cimentación.

4.4.4.2. Concreto Reforzado.

Todos los elementos de concreto reforzado se analizaron por la teoría Plástica, basada en las especificaciones del Reglamento de Construcciones Municipal (Código Municipal), las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, Manual de Diseño por Viento de la C.F.E. y Manual de Diseño por Sismo C.F.E.

4.4.4.3. Acero Estructural.

Todos los elementos de Acero se resolvieron en base a las especificaciones del AISC (American Institute Steel Construction), en Diseño Elástico, AWS (American Welding Society) y propiedades del IMCA (Instituto Mexicano de la Construcción en Acero).

4.4.4.4. Esfuerzos de Diseño

Capacidad de carga del terreno	$q=10.76 \text{ ton/m}^2$ (Dato COSOC diciembre de 2007)
Concreto Reforzado	$F'c=250 \text{ Kg/cm}$ (Resultado de prueba Esclerómetro)
Acero de refuerzo	$F_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ para acero del #3 al #8
Acero de refuerzo	$F_y = 2,100 \text{ kg/cm}^2$ para acero del #2 (alambrón)

4.4.4.5. ANÁLISIS DE CARGAS

4.4.4.5.1. Cargas Permanentes.

✚ Cúpulas de Cuña:

▪ Cuña en dos cascós	150 kg/m^2
▪ Aplanado de mezcla exterior	40 kg/m^2
▪ Impermeabilizante	10 kg/m^2
Total	200 kg/m^2

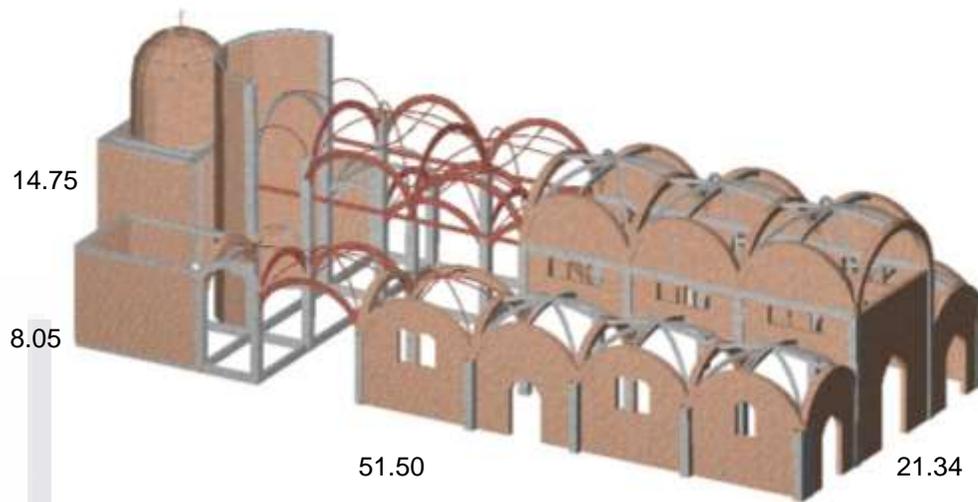
✚ Cúpulas de lona:

▪ Lona	5.0 kg/m^2
Total	5.0 kg/m^2

4.4.4.5.2. Cargas Variables

Cúpulas de Cuña	40.0 kg/m^2
Cúpulas de lona:	10.0 kg/m^2

4.4.5. DISEÑO POR VIENTO



4.4.5.1. PARÁMETROS DE ANÁLISIS

- ✚ **Clasificación de la estructura**

Según su importancia: **Grupo A**

4.4.5.2. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO

- ✚ **Clasificación de la estructura según su respuesta.**

$\gamma = 0.6912 < 5.0$ por lo que la estructura es poco sensible a ráfagas **tipo 1**

- ✚ **Categoría del terreno según su rugosidad: tipo 2**

- ✚ **Clase de la estructura según su tamaño: clase C**

- ✚ **Velocidad Regional:** De acuerdo a Manual de diseño de obras Civiles CFE: **125 Km/hr.**

Velocidad Regional: De acuerdo al Código Municipal: **150 Km/hr. (Factor que se tomará para el análisis).**

- ✚ **Factor de exposición: $F = F_c Fr_z$**

Donde: factor de tamaño **$F_c = 1.00$**

✚ **Factor de rugosidad.**

$$Frz = 1.56(14.751/315)^{0.128} = 1.054$$

Por lo tanto: **F = 1.054**

✚ **Factor de topografía: FT = 1.0**

✚ **Velocidad de diseño:** $VD = Ft \cdot F \cdot Vr = 1.0 \times 1.054 \times 150 = \mathbf{158.10 \text{ Km/hr.}}$

✚ **Presión Dinámica de base.**

Considerando la altura sobre el nivel del mar de 1842 y una temperatura media de 18.7 °C

$$Hg = 611.06 \text{ mm}$$

$$G = (0.392 \times 611) / (273 + 18.7) = 0.8211$$

$$qz = 0.0048 \times 0.8211 \times 158.102 = 62.521 \text{ kg/m}^2$$

✚ **Selección del procedimiento de análisis de cargas.**

Relación altura ancho = 0.6912 < 5.0 el procedimiento de análisis será estático.

4.4.5.3. PRESIONES DE DISEÑO.

- **Presiones interiores de diseño**
- Dado que la nave no tiene aberturas permanentes mayores al 30%, no se considerará presión interior.
- **Presiones de diseño para la estructura principal.**
 - $Kl = 1.00$ para estructura principal
 - $Ka = 0.8$ muros laterales, $Ka = 1.00$ barlovento y sotavento.
- **Viento normal a las generatrices**
- **Muro de barlovento**
 $Cpe = 0.8 \quad \Rightarrow \quad Pd = 50.016$
- **Muro de Sotavento**
 $Cpe = -0.50 \quad \Rightarrow \quad Pd = -31.26 \text{ Kg/m}^2$

• **Muros laterales**

de 0 a 14.75 m	$C_{pe} = -0.65$	$P_d = -40.64$	Kg/m^2
de 14.75 a 29.50 m	$C_{pe} = -0.50$	$P_d = -31.26$	Kg/m^2
de 29.50 a 44.25 m	$C_{pe} = -0.30$	$P_d = -18.46$	Kg/m^2
para >44.25 m	$C_{pe} = -0.20$	$P_d = -12.51$	Kg/m^2

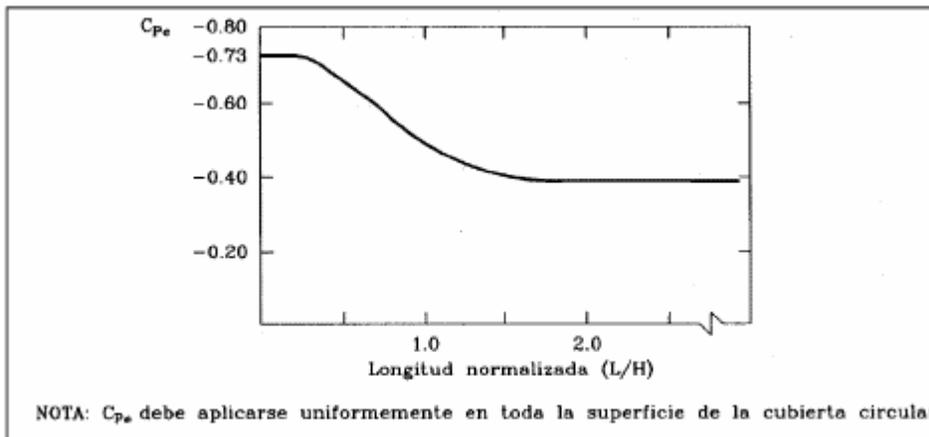


Figura I.13(b) Coeficiente de presión exterior, C_{pe} , para cubiertas de arco circular. Viento paralelo a las generatrices

La Figura I.13 (b) muestra el coeficiente de presión exterior C_{pe} .

Longitud Normalizada = 1.7027

$C_{pe} = -0.40$

$C_{pe} = -0.90$

$P_d = -56.27 \text{ kg/m}^2$

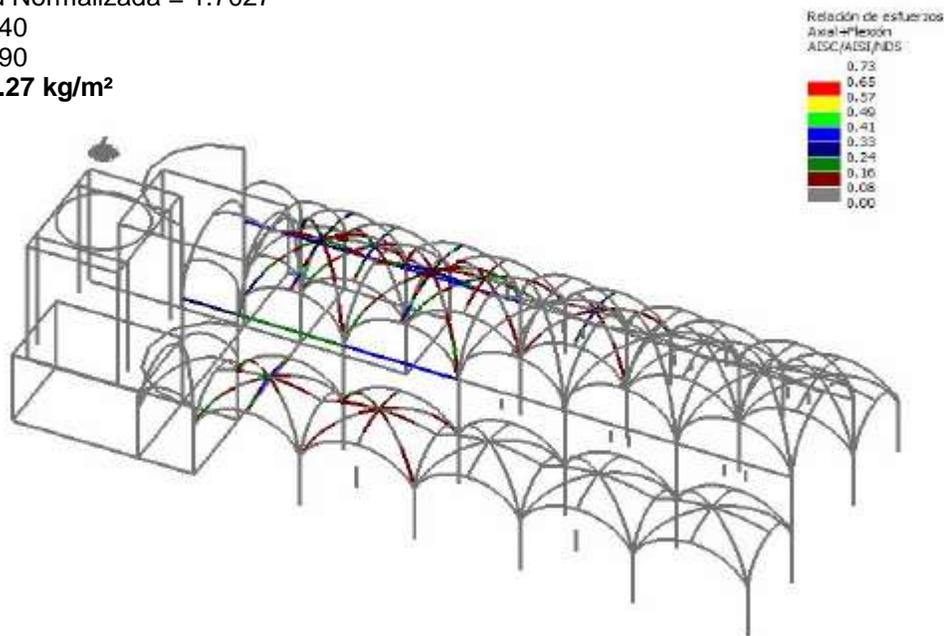
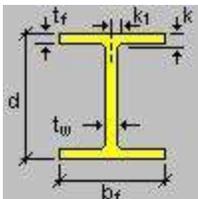


Fig.50. Relación de Esfuerzos combinación de Carga Permanente + Viento

4.4.6. REVISIÓN DE ELEMENTOS DE ACERO

Diseño por descripciones para carga gobernante $CC1=1.5CV+1.5CM$

Norma de diseño: ASD



MIEMBRO 4618
Sección: W 12X14

DESCRIPCIÓN: trabe v-2
Material: A36

- bf = 10.08 [cm] (Ancho)
- d = 30.23 [cm] (Profundidad)
- k = 1.33 [cm] (Distancia k)
- k1 = 1.43 [cm] (Distancia k1)
- tf = 0.57 [cm] (Espesor de ala)
- tw = 0.51 [cm] (Espesor de alma)

ESTADO: $CC1=1.5CV+1.5CM$

Estatus de diseño: Bien

AXIAL:

Datos

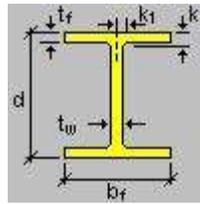
Resultados

Análisis	=	2	KlrAdm	=	N/A
Lb pos	=	7.630 [M]	Krl33	=	65.091
Lb neg	=	7.630 [M]	Krl22	=	398.824
K33p	=	1	QsAxial	=	1
K22p	=	1	QaAxial	=	1
L33	=	7.630 [M]	CrAxial	=	Compacta
L22	=	7.630 [M]	Ae	=	26.839 [cm ²]
I33p	=	3687.810 [cm ⁴]	Fe	=	0.127 [Ton/cm ²]
I22p	=	98.231 [cm ⁴]	KrlE	=	398.824
área	=	26.839 [cm ²]	Krlmax	=	398.824
Fy	=	2.531 [Ton/cm ²]	Cc	=	126.099
Fyksi	=	36.000 [ksi]			
E	=	2038.891 [Ton/cm ²]			
G	=	809.084 [Ton/cm ²]			
xcorte	=	0.000 [cm]			
ycorte	=	0.000 [cm]			
J	=	2.930 [cm ⁴]			
Cw	=	21643.987 [cm ⁶]			
r0	=	11.854 [cm]			

REL.F	Eqn	ESTAC.F [M]	Axial [Ton]	M33 [Ton*M]	M22 [Ton*M]
0.66	H2-1	7.63	1.34	-0.36	-0.36
REL.V	Eqn	ESTAC.V [M]	V2 [Ton]	V3 [Ton]	Tor [Ton*M]
0.02	F4	7.63	0.16	-0.02	0.00

MIEMBRO 87
Sección: W 18X35

DESCRIPCIÓN: arco m-1
Material: A36



- bf = 15.24 [cm] (Ancho)
- d = 44.96 [cm] (Profundidad)
- k = 2.10 [cm] (Distancia k)
- k1 = 1.90 [cm] (Distancia k1)
- tf = 1.08 [cm] (Espesor de ala)
- tw = 0.76 [cm] (Espesor de alma)

ESTADO: CC1=1.5CV+1.5CM

Estatus de diseño: Bien

AXIAL:
Datos

Resultados

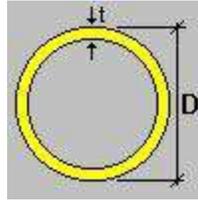
Análisis	=	2	KlrAdm	=	N/A
Lb pos	=	0.228 [M]	Krl33	=	1.273
Lb neg	=	0.228 [M]	Krl22	=	7.352
K33p	=	1	QsAxial	=	1
K22p	=	1	QaAxial	=	1
L33	=	0.228 [M]	CrAxial	=	Compacta
L22	=	0.228 [M]	Ae	=	66.451 [cm ²]
I33p	=	21227.800 [cm ⁴]	Fe	=	372.329 [Ton/cm ²]
I22p	=	636.834 [cm ⁴]	KrlE	=	7.352
área	=	66.451 [cm ²]	Krlmax	=	7.352
Fy	=	2.531 [Ton/cm ²]	Cc	=	126.099
Fyksi	=	36.000 [ksi]			
E	=	2038.891 [Ton/cm ²]			
G	=	809.084 [Ton/cm ²]			
xcorte	=	0.000 [cm]			
ycorte	=	0.000 [cm]			
J	=	21.061 [cm ⁴]			
Cw	=	306130.830 [cm ⁶]			
r0	=	18.146 [cm]			

REL.F	Eqn	ESTAC.F [M]	Axial [Ton]	M33 [Ton*M]	M22 [Ton*M]
0.63	H1-2	0.00	-20.14	-2.99	0.38

REL.V	Eqn	ESTAC.V [M]	V2 [Ton]	V3 [Ton]	Tor [Ton*M]
0.04	F4	0.00	0.44	-0.36	0.00

MIEMBRO 2710
 Sección: PIPE 4x0.237

DESCRIPCIÓN: TUBULARES
 Material: A36
 D = 11.43 [cm] (Diámetro)
 T = 0.60 [cm] (Espesor)
 ESTADO: CC1=1.5CV+1.5CM
Estatus de diseño: Bien



AXIAL:			Resultados		
Datos					
Análisis	=	2	KlrAdm	=	N/A
Lb pos	=	0.299 [M]	Krl33	=	7.786
Lb neg	=	0.299 [M]	Krl22	=	7.786
K33p	=	1	QsAxial	=	1
K22p	=	1	QaAxial	=	1
L33	=	0.299 [M]	CrAxial	=	Compacta
L22	=	0.299 [M]	Ae	=	20.452 [cm2]
I33p	=	300.935 [cm4]	Fe	=	331.977 [Ton/cm2]
I22p	=	300.935 [cm4]	KrlE	=	7.786
área	=	20.452 [cm2]	Krlmax	=	7.786
Fy	=	2.531 [Ton/cm2]	Cc	=	126.099
Fyksi	=	36.000 [ksi]			
E	=	2038.891 [Ton/cm2]			
G	=	809.084 [Ton/cm2]			
xcorte	=	0.000 [cm]			
ycorte	=	0.000 [cm]			
J	=	603.535 [cm4]			
Cw	=	0.000 [cm6]			
r0	=	5.405 [cm]			

REL.F	Eqn	ESTAC.F [M]	Axial [Ton]	M33 [Ton*M]	M22 [Ton*M]
0.74	H2-1	0.24	0	0.64	0
REL.V	Eqn	ESTAC.V [M]	V2 [Ton]	V3 [Ton]	Tor [Ton*M]
0	F4	0.00	-0.02	0	0.00

4.4.7. ESTATUS DE DISEÑO

Se realizó la revisión bajo diferentes estados de carga, resultando el más desfavorable el que corresponde a $CC1=1.5CV+1.5CM$, con un estatus de diseño satisfactorio (Fig.51).

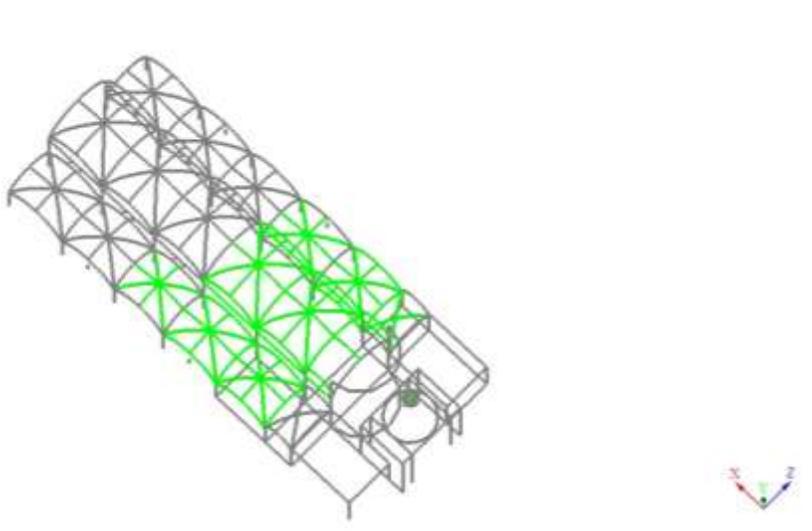


Fig. 51. Estatus de diseño satisfactorio.

4.4.8. PROPUESTA Y REVISIÓN DE RECIMENTACIÓN

De acuerdo a los últimos estudios de mecánica de suelos a cargo de la Secretaría de Obras Públicas de Gobierno del Estado, en los que se propuso al análisis del área más desfavorable correspondiente a la columna ubicada en el eje F7 y que presenta un asentamiento de 14 cm., realizando un sondeo a mayor profundidad hasta llegar al estrato resistente para poder determinar la causa real del mecanismo de falla que provocó los agrietamientos en cúpulas y muros del Templo, concluyendo a juicio de quien documenta, con el resultado de la causa real del problema de agrietamientos. En los estudios anteriores, se habían sondeado las áreas exteriores y a profundidades de 3.30 m. como máximo y que se habían presentado teorías de lo que habría provocado los agrietamientos en cúpulas, muros y piso, pero sin la certeza real del fenómeno. Una vez determinada la probable causa de los asentamientos, se revisará la propuesta de recimentación a base de zapatas aisladas ligadas con contratrabe soportada sobre micropilotes de concreto del área afectada, de acuerdo a los resultados del análisis estructural, incluyendo los armados correspondientes.

4.4.8.1. Elementos de concreto más desfavorables.

Se presentan los elementos estructurales considerados más desfavorables tomando los valores de los elementos mecánicos para realizar la revisión de la recimentación propuesta.

4.4.8.2. Numeración de nodos en la cimentación.

En la Fig.52 se presentan los elementos mecánicos de los nodos 765 correspondiente a la columna de concreto armado de la estructura que no presenta mayores deformaciones y el nodo 763, que es parte del área demolida en lo que se refiere a las cúpulas de cuña. Y que serán los parámetros de análisis de la recimentación.

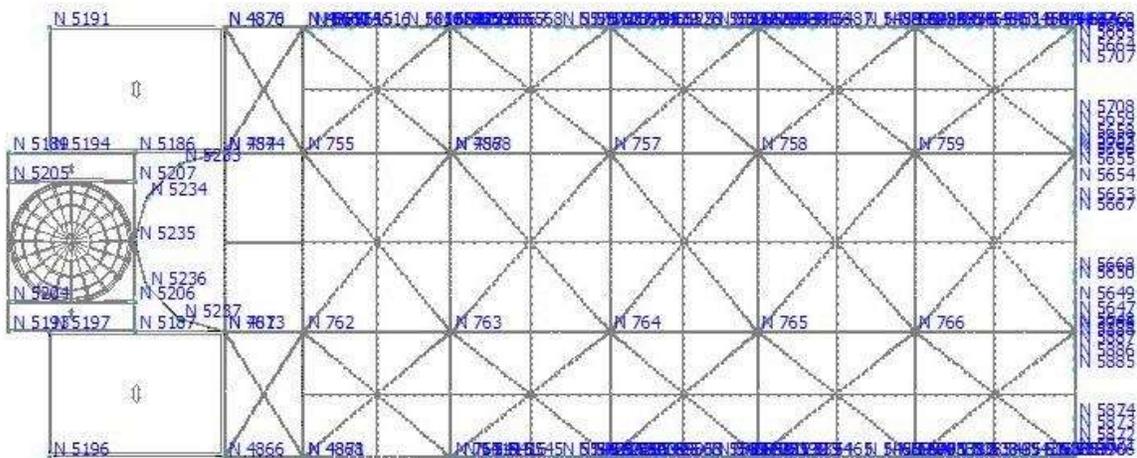


Fig. 52. Numeración de nodos en la cimentación de acuerdo con el modelo analizado.

4.4.8.3. Resultados del Análisis de columna del nodo 765.

4.4.8.3.1. Diagramas de esfuerzos

Del diagrama de esfuerzos axiales (Fig.53), se tomará el valor del esfuerzo axial de 130 ton. para la revisión de la propuesta de recimentación ya que se considera uno de los puntos más desfavorables de la estructura (Fig.54).

Estados considerados:

CC1=1.5CV+1.5CM

MIEMBRO	: 765	Largo	: 9.460 [m]	Nudo J	: 175
Material	: H 200x4200	Sección	: Columna 61x61	Nudo K	: 765

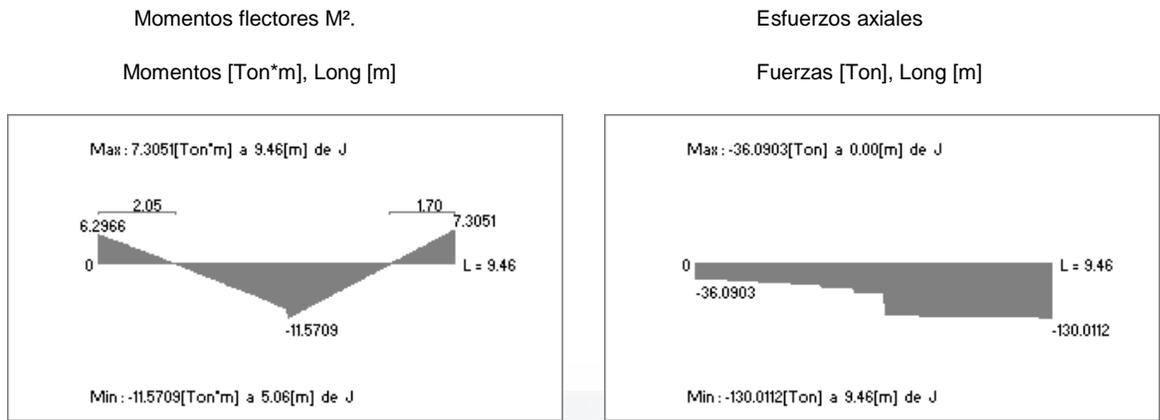


Fig.53. Diagramas de momentos y esfuerzos axiales de la columna de análisis

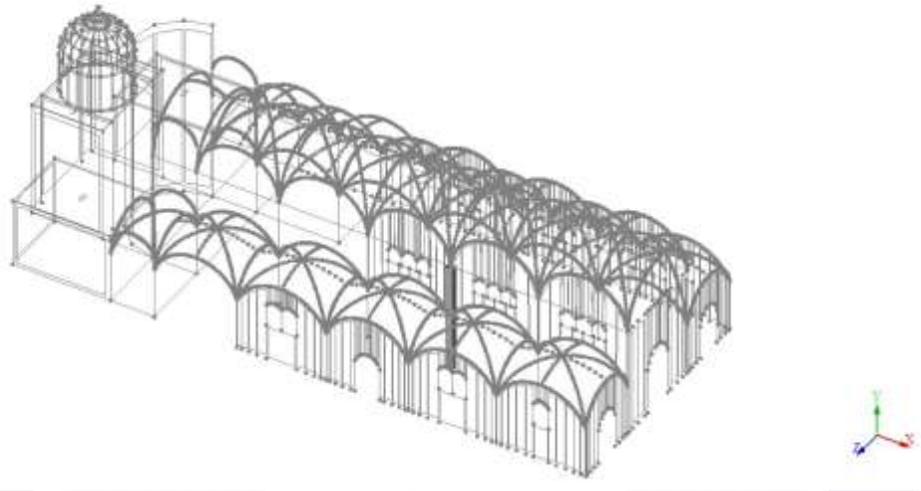


Fig.54. Columna más desfavorable para el análisis de la recimentación.

4.4.8.4. Resultados del Análisis de columna del nodo 763.

4.4.8.4.1. Diagramas de esfuerzos

El resultado del nodo 763, corresponde a la columna del área a reestructurar (Fig.55), con elementos de acero A-36, con una esfuerzo axial de 24.25 ton. (Fig.56), esfuerzo mucho menor que la columna del nodo 765, y que para cuestiones de revisión, se tomará el valor de 130 ton. como esfuerzo axial, considerando que en un momento dado se realizará una propuesta de rehabilitación con materiales iguales a los existentes (Arcos de concreto y bóvedas de cuña).

Estados considerados:

CC1=1.5CV+1.5CM

MIEMBRO	: 763	Largo	: 9.460 [m]	Nudo J	: 59
Material	: H 200x4200	Sección	: Columna 61x61	Nudo K	: 763

Momentos flectores M^2 .

Esfuerzos axiales

Momentos [Ton*m], Long [m]

Fuerzas [Ton], Long [m]

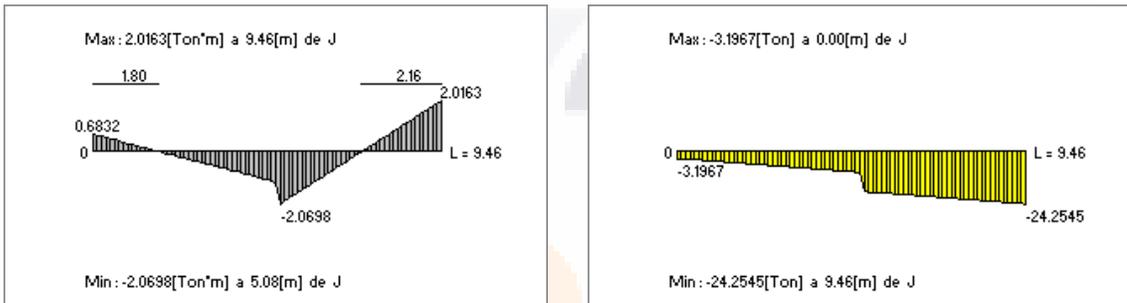


Fig. 55. Diagramas de momentos y esfuerzos axiales de la columna del nodo 763.

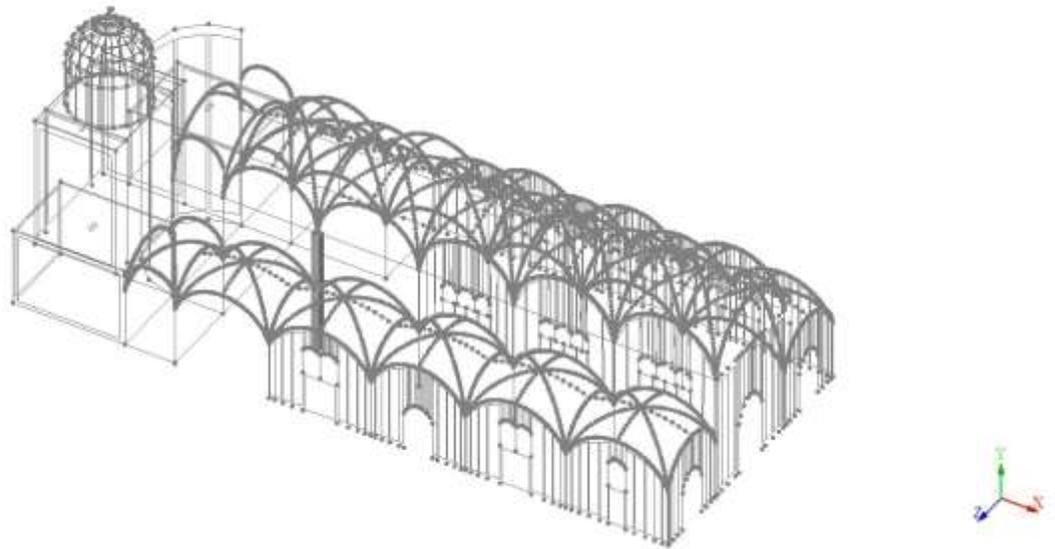


Fig. 56. Columna más desfavorable en el área de rehabilitación con estructura de acero.

4.4.9. REVISIÓN DE SECCIONES Y ARMADOS DE ZAPATAS CENTRALES.

En éste apartado, se revisarán las dimensiones y armados de las zapatas propuestas utilizando las carga más desfavorable correspondiente a la columna de concreto del eje I-11 con una carga axial de 130.00 ton.

4.4.9.1. Revisión de zapata sujeta a carga axial

La columna del eje I-11, se desplantara sobre un estrato del suelo con capacidad de carga o presión máxima de 20.18 ton /m².

PR = 20.18 ton /m². (Dato del estrato de desplante, Obras Públicas noviembre de 2008).

F'c= 250 kg/cm².

Fy= 4200 kg/cm².

Descarga de la columna = 130.00 ton. (Dato del análisis de carga axial en la columna I11).

Peso estimado de la cimentación = 7.80 ton. (6% de la carga axial)

137.80 ton. Carga total sobre el suelo

4.4.9.2. Carga axial de diseño

Pu = Fc P = 1.4 X 137.80 = 192.92 ton.

4.4.9.3. Área necesaria

$$B^2 = \frac{Pu}{PR} = \frac{192.92}{20.18} = 9.55 \text{ m}^2$$

B = 3.09 m., Se tomará 2.85 m.

4.4.9.4. Determinación del peralte (Sección Constante).

Vu = Pu [B² - (c + d)²] = 20.18 [2.85² - (1.35 + 0.30)²] = 108.97 ton. = 108, 970 kg.

4.4.9.5. Área de la sección crítica

$$S = 4d (c + d) = 4 (30) (135 + 30) = 19,800 \text{ cm}^2$$

4.4.9.6. Esfuerzo cortante último

$$V_u = \frac{V_u}{S} = \frac{108,970 \text{ kg}}{19,800 \text{ cm}^2} = 5.50 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.9.7. Esfuerzo cortante por punzamiento

$$V_R = F_R \sqrt{f^*c} = 0.80 \sqrt{0.80 \times 250} = 11.31 \text{ kg/cm}^2 > 5.50 \text{ kg/cm}^2$$

la sección propuesta resulta sobrada por lo que se puede reducir el peralte a 25 cm.

$$V_u = P_u [B^2 - (c + d)^2] = 20.18 [2.85^2 - (1.35 + 0.25)^2] = 112.251 \text{ ton.} = 112, 251 \text{ kg.}$$

$$S = 4d (c + d) = 4 (25) (135 + 25) = 16,000 \text{ cm}^2$$

$$V_u = \frac{V_u}{S} = \frac{112,251 \text{ kg}}{16,000 \text{ cm}^2} = 7.01 \text{ kg/cm}^2 < 11.31 \text{ kg/cm}^2 \text{ Ok.}$$

4.4.9.8. Refuerzo por flexión

Momento en la sección crítica

$$M_u = P_u \frac{B}{8} (B - c)^2$$

$$P_u = \frac{1.4 \times 130}{2.85 \times 2.85} = 22.41 \text{ ton/m}^2$$

$$M_u = 22.41 \frac{2.85}{8} (2.85 - 1.35)^2 = 17.96 \text{ ton - m}$$

4.4.9.9. Determinación del área de acero

$$A_s = \frac{M_u}{F_r 0.9 d f_y} = \frac{1'796,000}{0.9 \times 0.9 \times 25 \times 4200} = 21.12 \text{ cm}^2$$

Refuerzo con acero del N° 4 $A = 1.27 \text{ cm}^2$

$$\text{Sep.} = \frac{B A_b}{S_d} = \frac{285 \times 1.27}{21.12} = 17.14 \text{ cm.} \approx 15 \text{ cm.}$$

$$\rho = \frac{A_b}{S_d} = \frac{1.27}{17.14 \times 25} = 0.00296$$

$$\rho_{\min} = \frac{0.7 \sqrt{f_c}}{F_y} = \frac{0.7 \sqrt{250}}{4,200} = 0.00263 < 0.00296 \text{ Ok.}$$

4.4.9.10. Peralte total de la zapata

$$h = d + \frac{db}{2} + r$$

$$H = 25 + \frac{1.27}{2} + 5 = 32 \text{ cm.}$$

$$W \text{ tot. Zapata} = 2.85 \times 2.85 \times 0.32 \times 2.4 = 6.27 \text{ ton.}$$

4.4.10. REVISIÓN DE MICROPILOTES

En el caso del Templo San Felipe, al momento de su construcción, al parecer, no se realizó ningún tipo de estudio, de mecánica de suelos, geofísico ó geoelectrico, de acuerdo a los análisis previos, la gente lo construyó a su entender y sólo se basaron al tipo de suelo firme que encontraron en una capa inmediata, pero cuando la capacidad de carga de los estratos superiores resiste una cimentación superficial, y se tienen estratos intermedios con capacidades menores o estratos con características desfavorables para la estructura, y por otro lado, cuando existen estratos firmes a mayor profundidad, como es el caso que nos ocupa, se puede resolver la recimentación utilizando micropilotes, con la finalidad de transferir las cargas a dichos estratos y evitar finalmente los asentamientos.

4.4.10.1. REVISIÓN DE MICROPILOTES DE CONCRETO POR PUNTA BAJO LA TEORÍA DE MEYERHOF

Se propone resolver el problema de asentamientos mediante el uso de micropilotes de concreto colados en sitio, en base a la Teoría de Meyerhof para suelos mixtos por punta, despreciando en éste caso la fricción por la longitud del mismo, y consideraremos para cuestión de la revisión de capacidad de carga del pilote, un diámetro de 0.30 m. bajo el siguiente esquema (Fig.57). Los datos fueron tomados del estudio realizado por López V. Secretaría de Obras Públicas Estatales. (Noviembre de 2008).

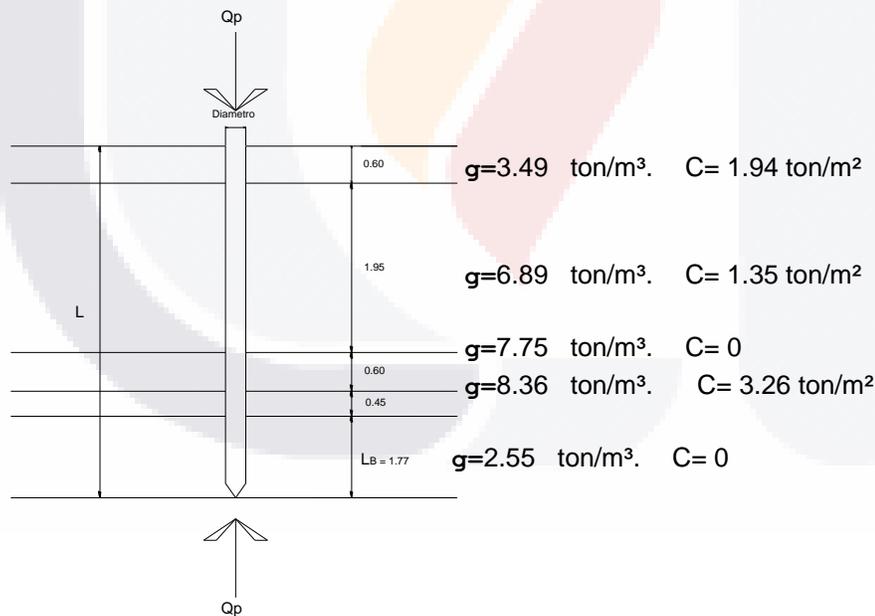


Fig. 57. Esquema de análisis de micropilotes de concreto.

4.4.10.2. LONGITUD DE PILOTE

$$LB = 4D \sqrt{N \phi}$$

$$N \phi = \frac{1 + \text{SEN } \phi}{1 - \text{SEN } \phi} = 2.16$$

$\phi = 21.6^\circ$ (Dato de estudio geotécnico, López V. Obras Públicas Estatales 2008)

$C = 3.26 \text{ ton/m}^2$ (Dato de estudio geotécnico, López V. Obras Públicas Estatales 2008)

$$LB = 4 (0.30) \sqrt{2.16} = 1.77 \text{ m.}$$

4.4.10.3. CAPACIDAD DE CARGA POR PILOTE

De acuerdo a la carga axial de estudio mas el peso total de la zapata analizada en el punto 4.3.9.1. se tiene un total de 136.27 ton. peso que se divide entre cuatro pilotes propuestos por Zapata (Fig. 58), se tiene que cada pilote debe ser capaz de soportar **34.27 ton.**, que se revisará con el análisis de capacidad de carga por punta del pilote.

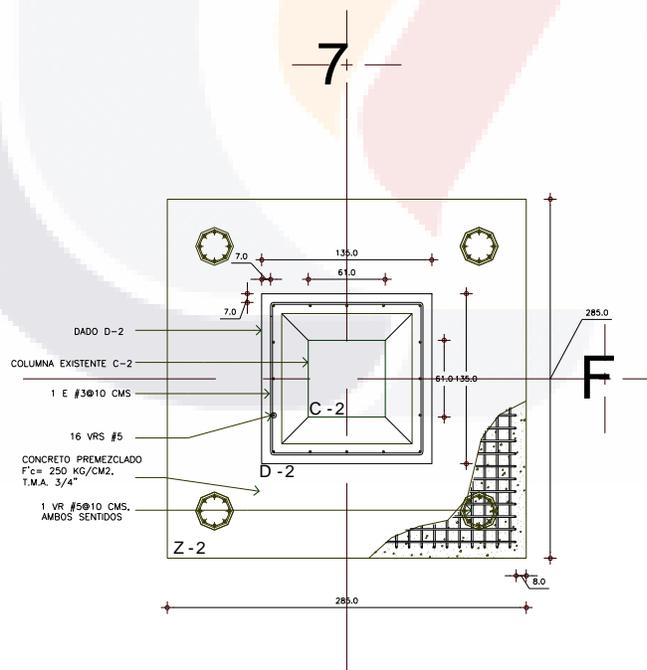


Fig. 58. Propuesta de distribución de pilotes en zapata aislada.

4.4.10.4. REVISIÓN DE SEPARACIÓN

Separación mínima = 3D = 3 (0.30) = 0.90 **Ok.**

4.4.10.5. CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA DEL PILOTE POR PUNTA PARA SUELOS MIXTOS.

La capacidad límite de resistencia de un pilote trabajando por punta en suelos mixtos debe ser:

$$Q_p = A_p (cN'_c + q' N'_q)$$

Donde:

- Qp = Capacidad de carga del pilote
- Ap = Área de la sección del pilote
- Nc, Nq* = Factores de capacidad de carga para pilotes (Fig. VII-14)
- c = Valor de la cohesión del estrato
- q' = Sobrecarga vertical efectiva de la punta

de Apéndice C anexa Fig. VII-14 N'c=83, N'q = 16

$$q'_{(0.60)} = (0.60 \times 3.49) + (1.94 \times 83) = 163.11 \text{ ton.}$$

$$q'_{(1.95)} = (1.95 \times 6.89) + (1.35 \times 83) = 125.48 \text{ ton.}$$

$$q'_{(0.60)} = (0.60 \times 7.75) = 4.65 \text{ ton.}$$

$$q'_{(0.45)} = (0.45 \times 8.36) + (3.26 \times 83) = 274.34 \text{ ton}$$

$$q'_{(1.77)} = (1.77 \times 2.55) = 4.51 \text{ ton.}$$

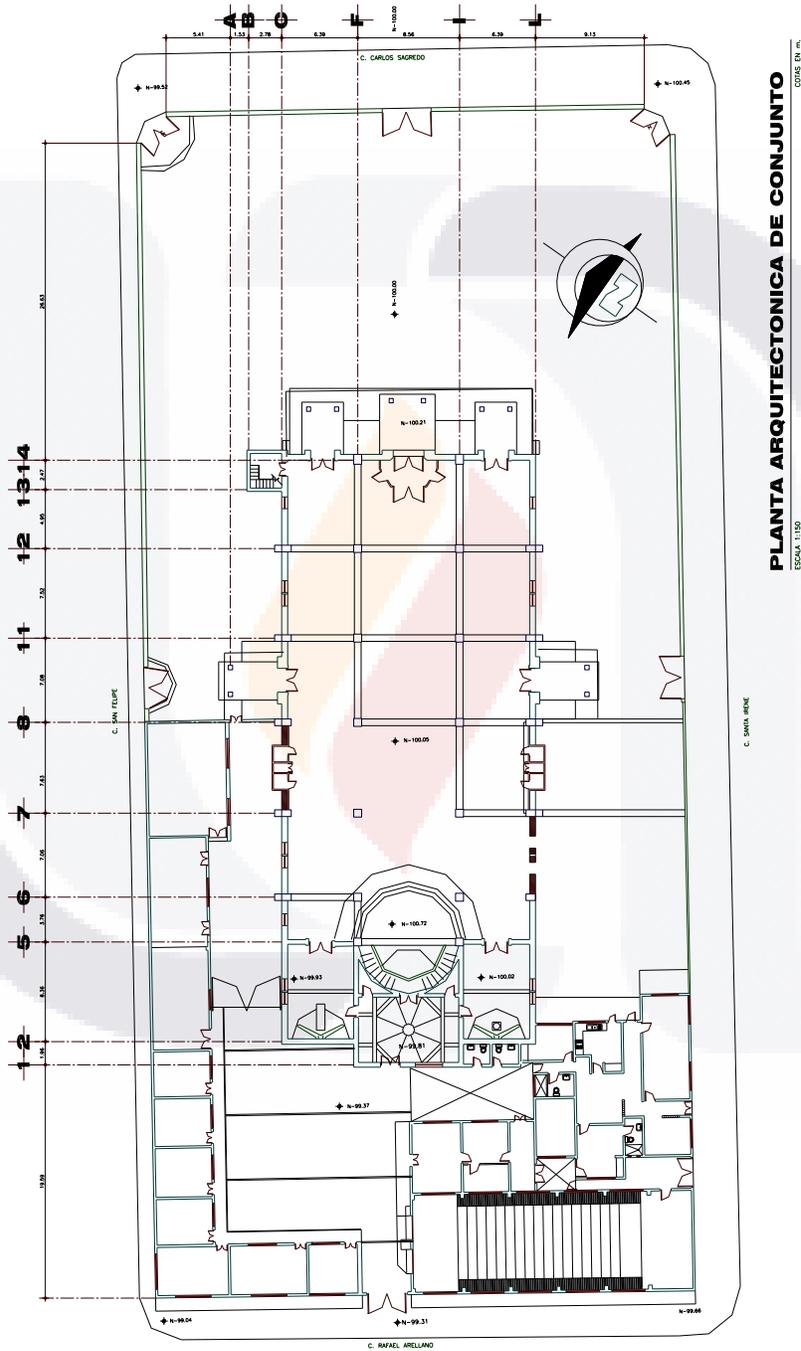
$$\Sigma q' = 572.09 \text{ ton.}$$

$$Q_p = 0.07068 \times 572.09 = 40.44 \text{ ton.} > \mathbf{34.27 \text{ ton ok.}}$$

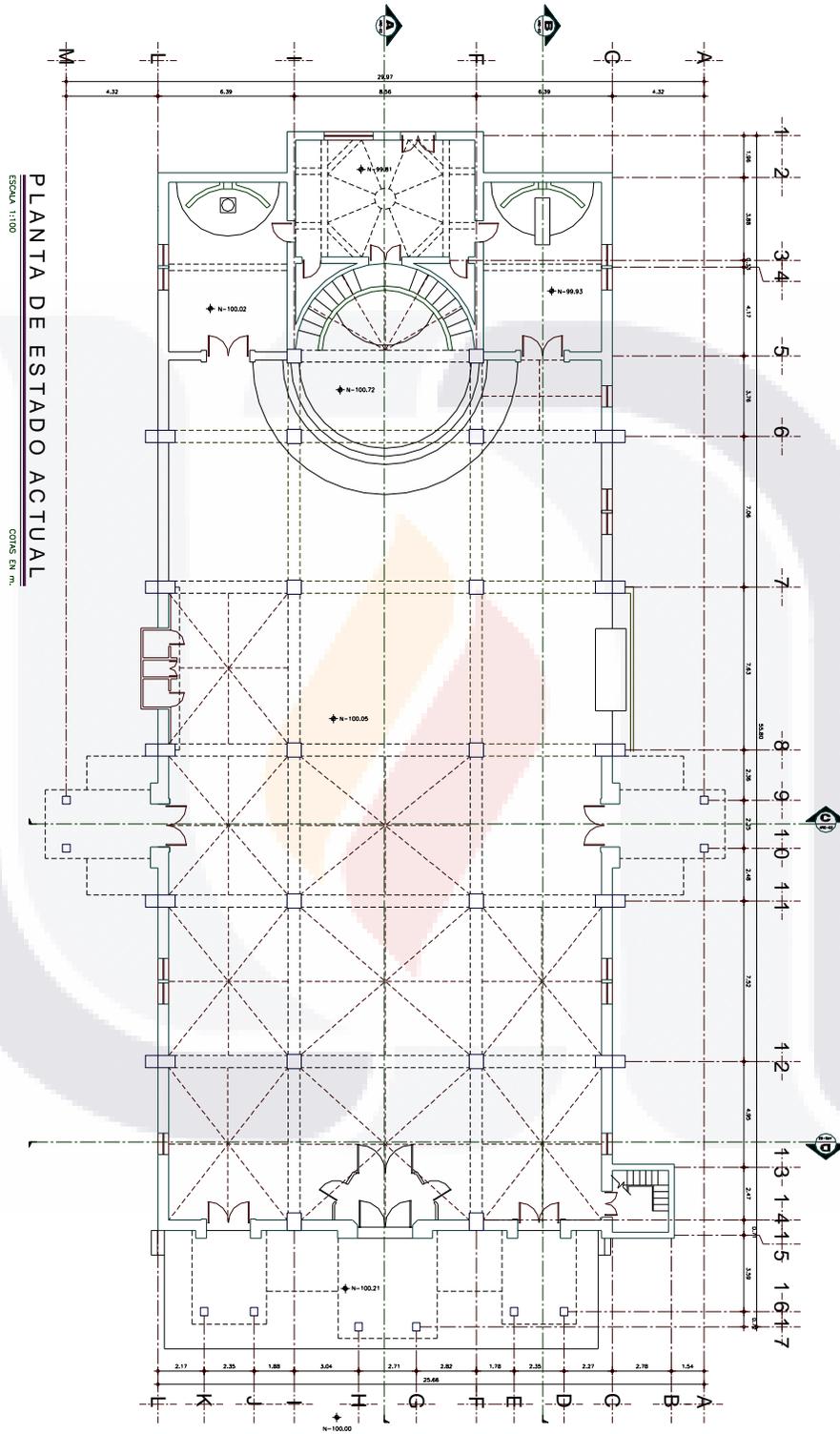
4.5. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO.

En éste capítulo, se presenta el levantamiento del estado actual del templo digitalizado el cuál fue elaborado en colaboración con el despacho del Arq. Jaime Antonio Randolph Rodríguez y que consiste en:

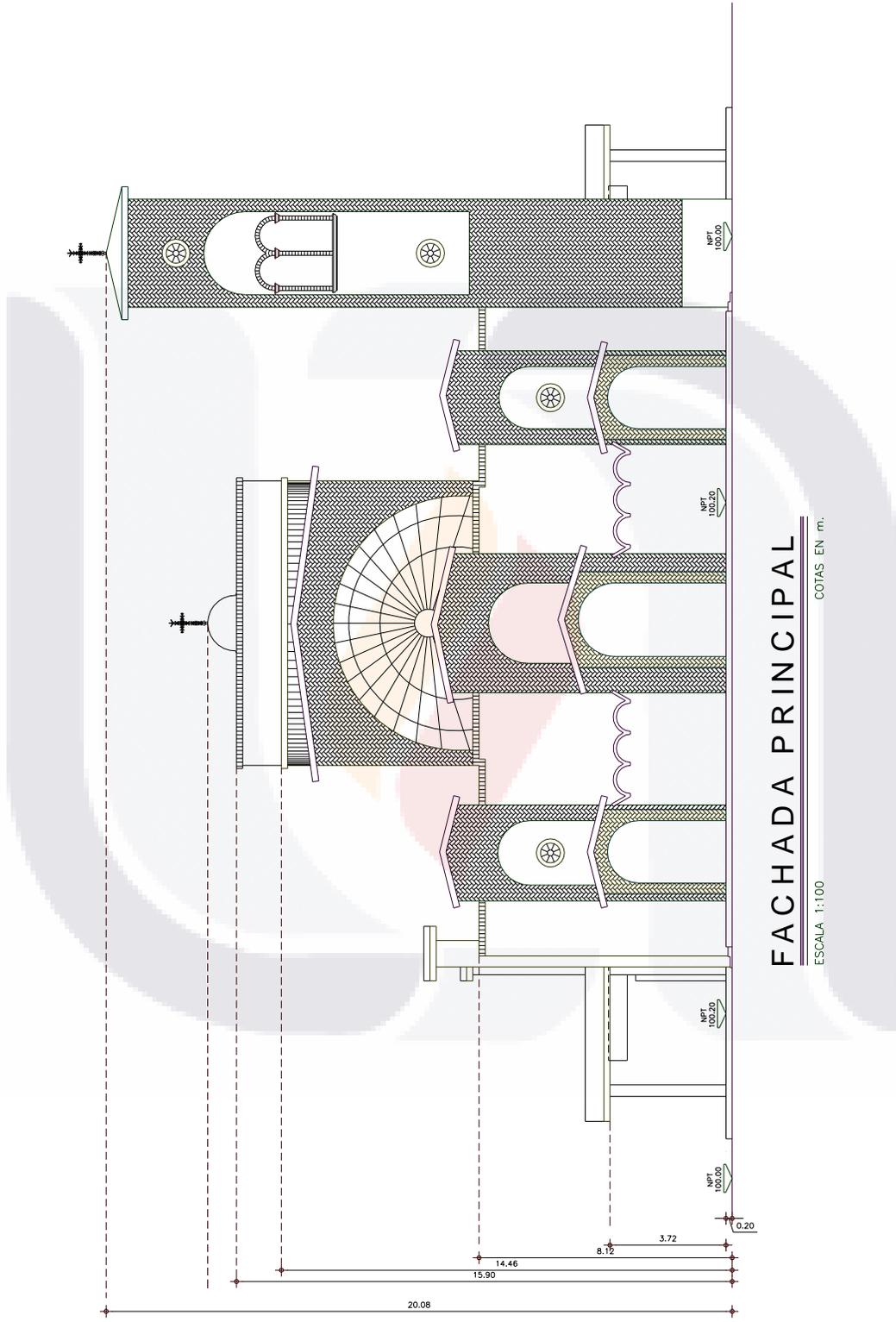
4.5.1. Planta Arquitectónica de conjunto.



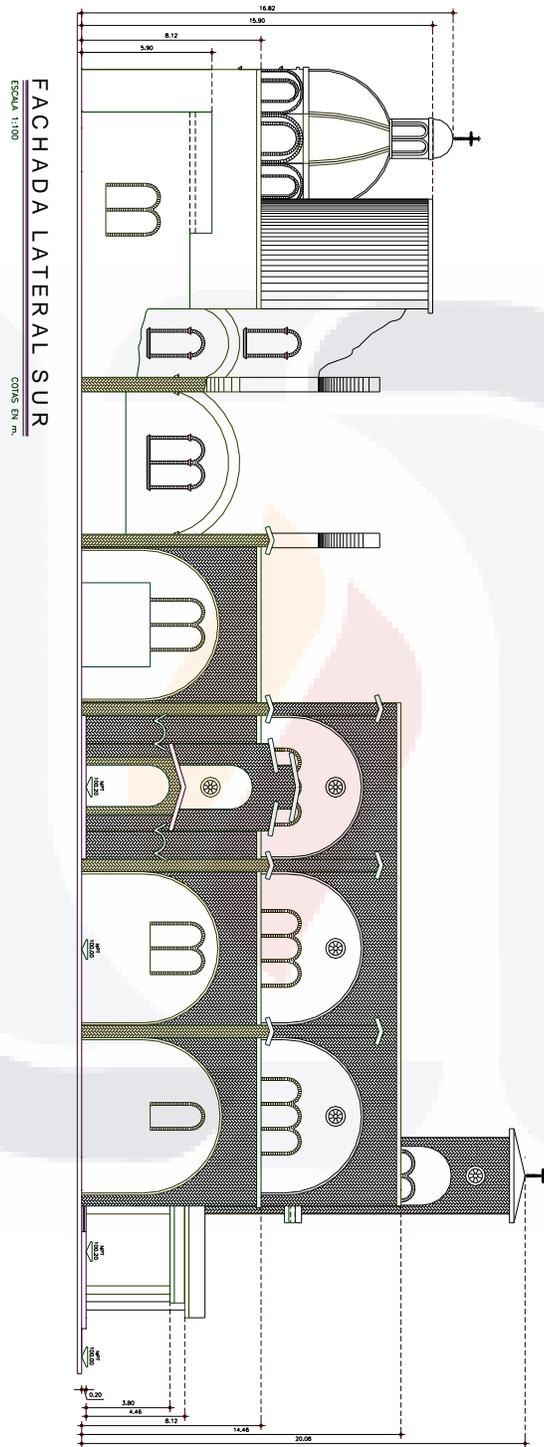
4.5.2. Planta Arquitectónica.



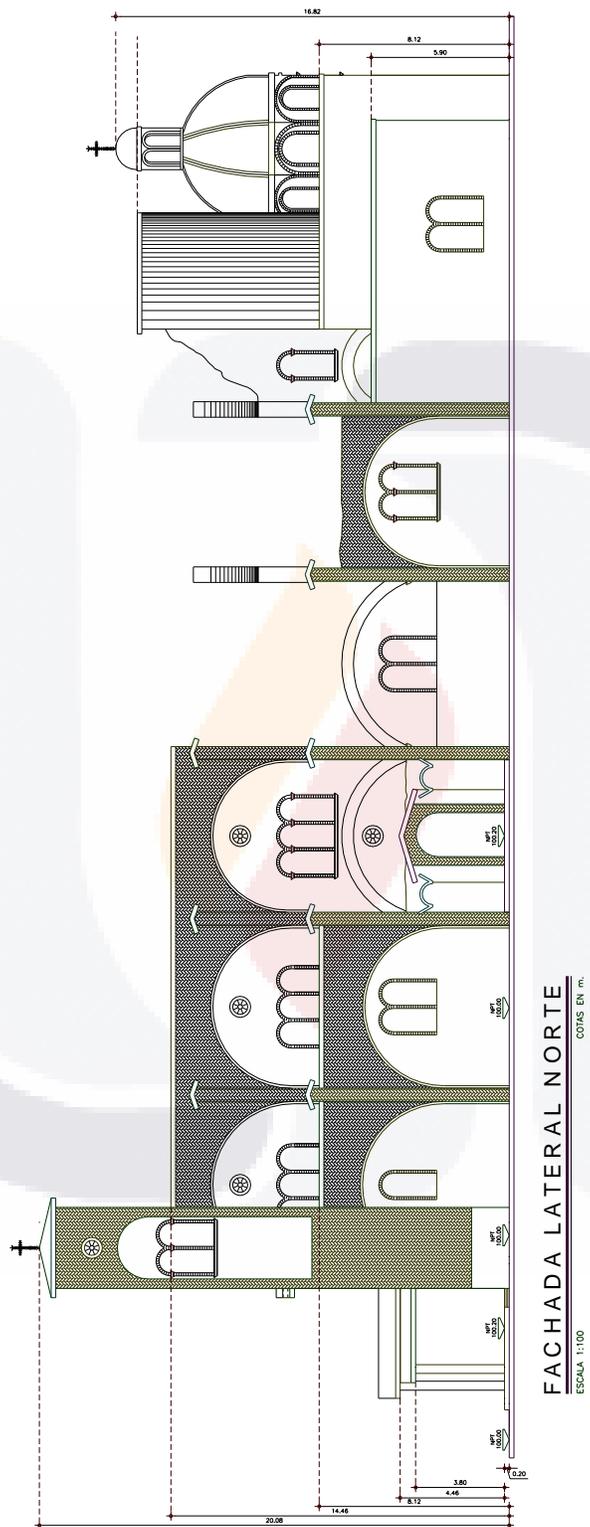
4.5.3. Fachada Principal.



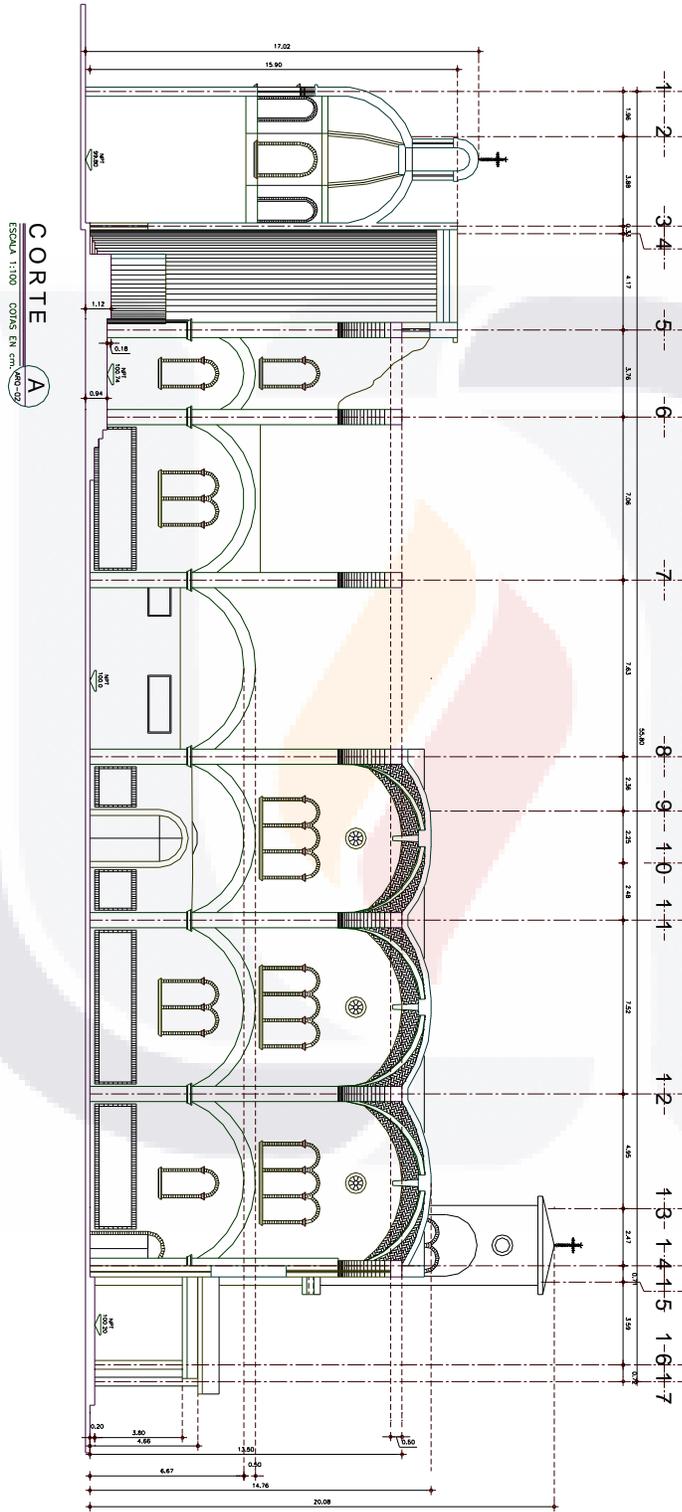
4.5.4. Fachada lateral sur.



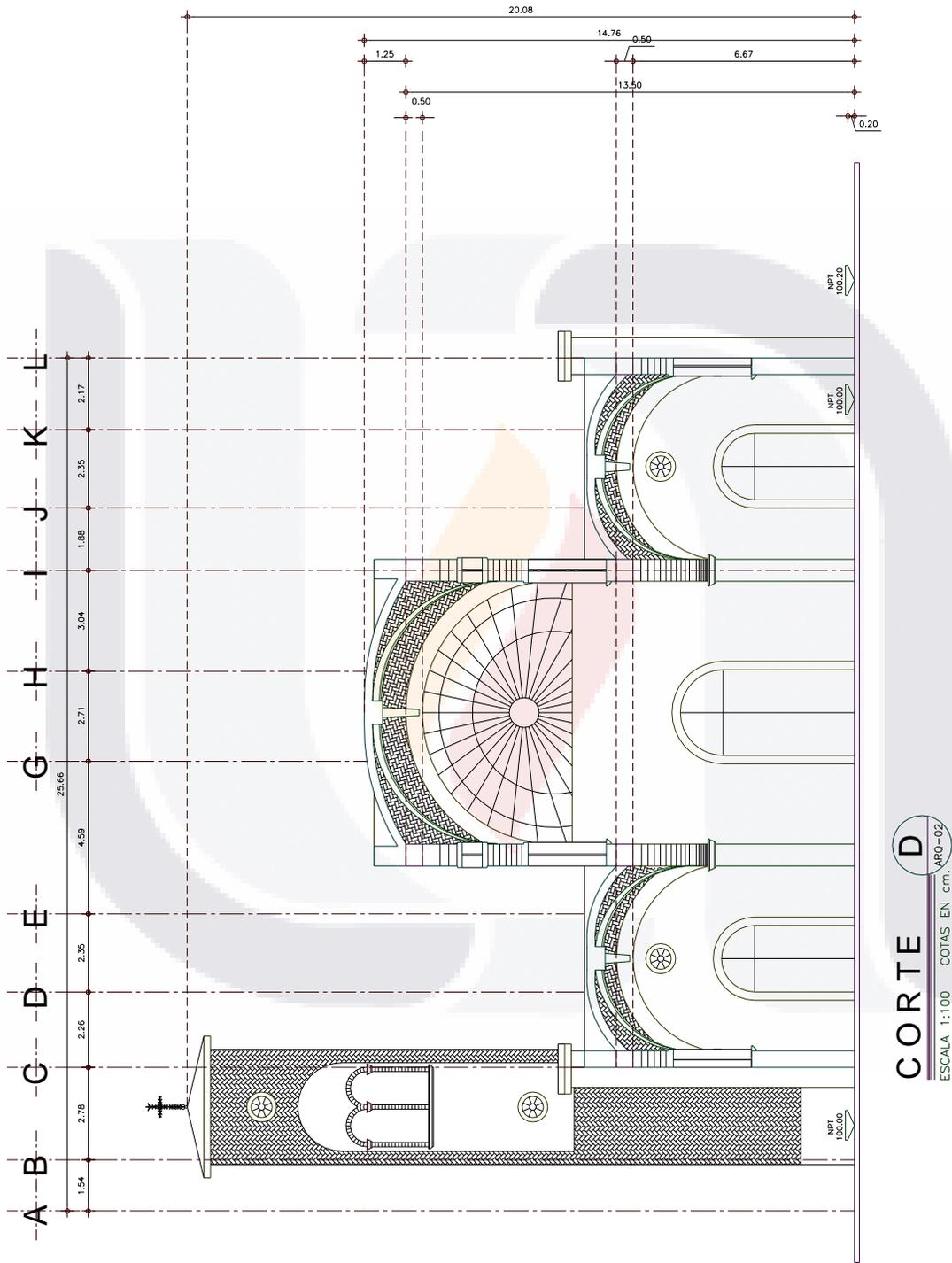
4.5.5. Fachada lateral norte



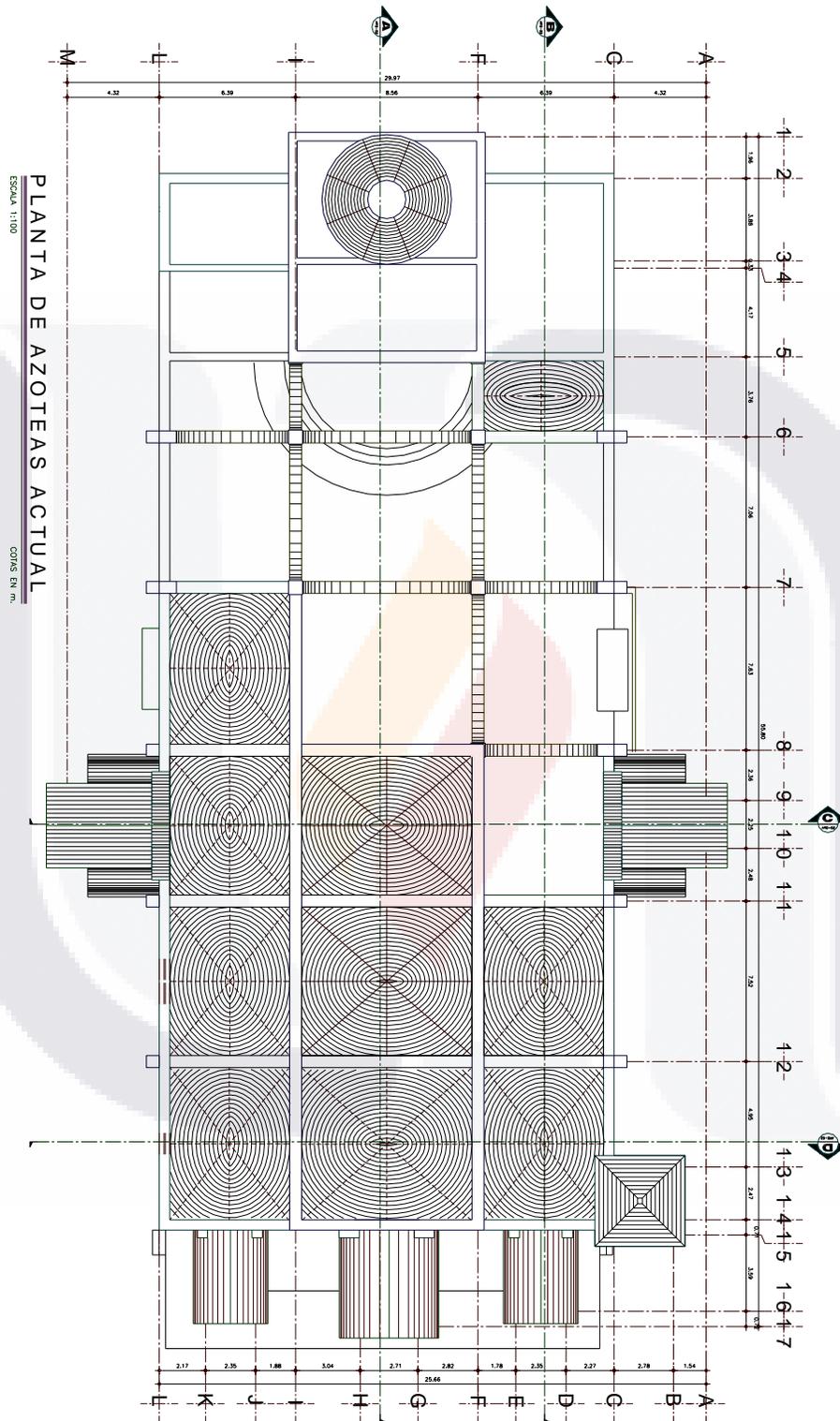
4.5.6. Corte A.



4.5.9. Corte D.

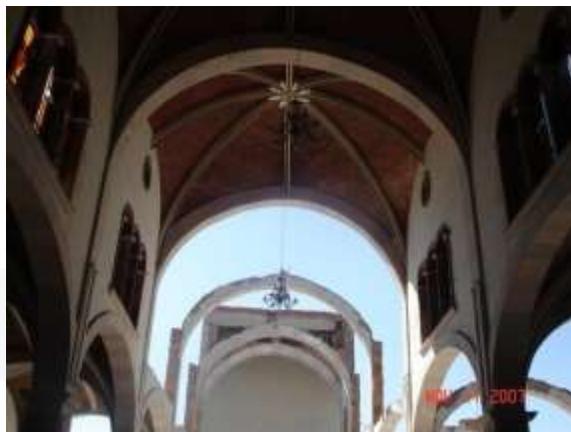


4.5.10 Planta de Azoteas.



4.5.11. REPORTE FOTOGRÁFICO.

Estado Actual del Templo San Felipe.

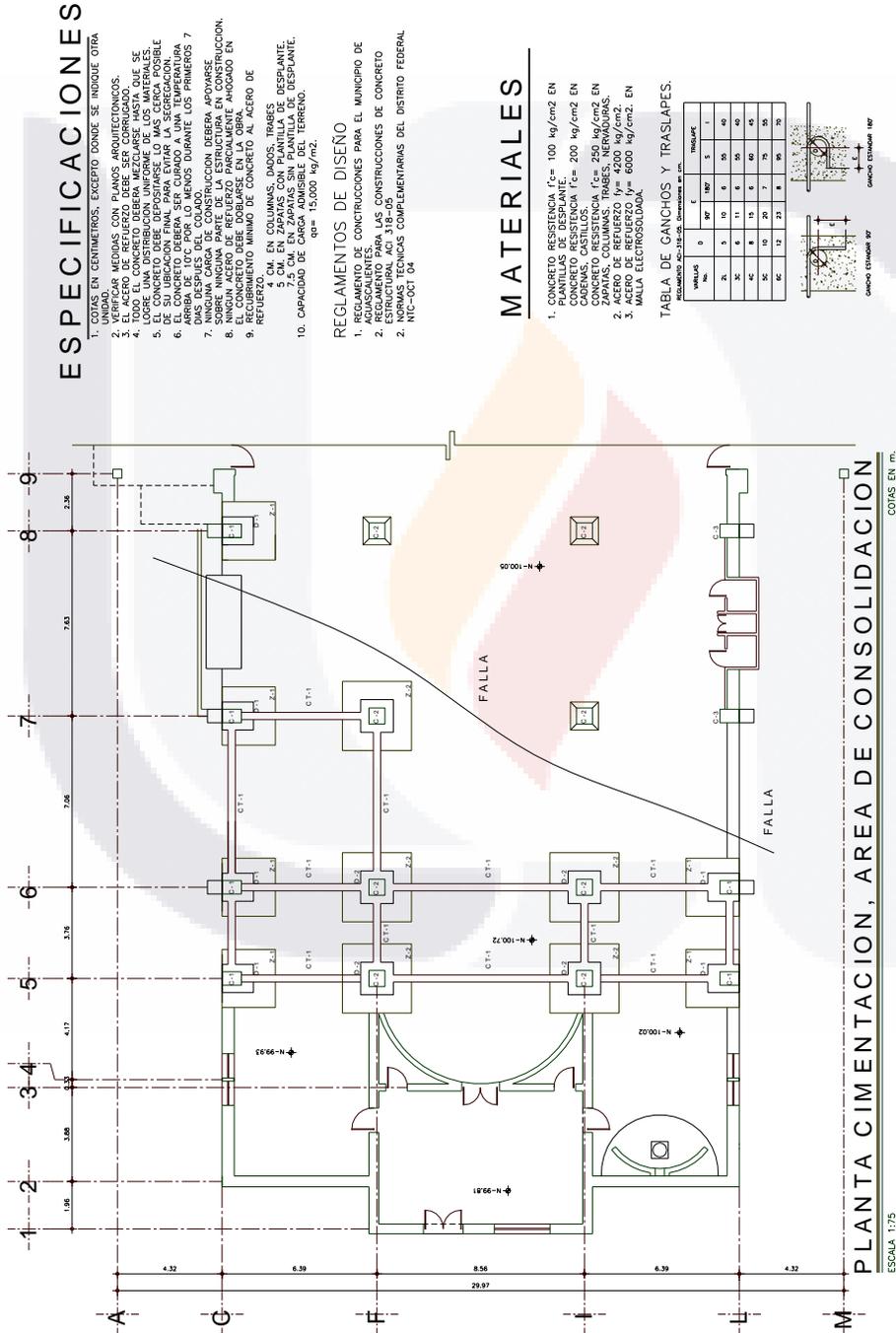




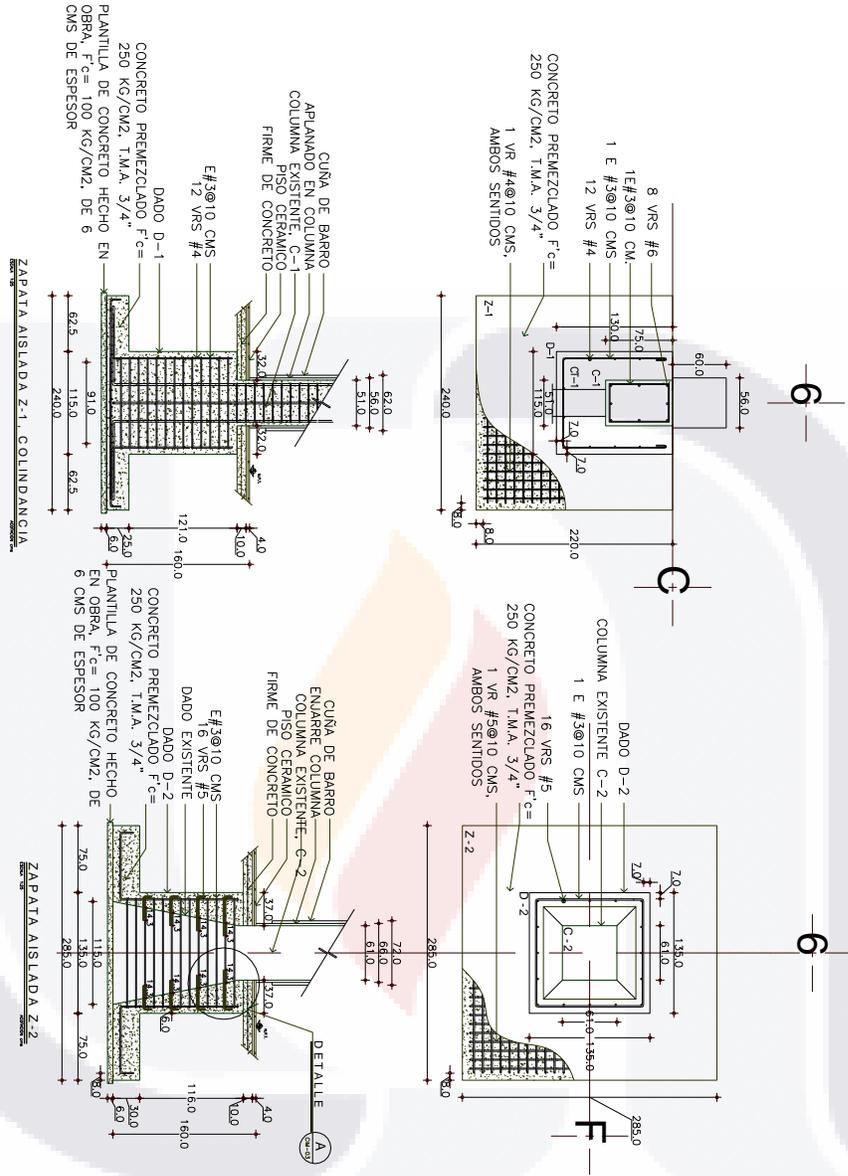
4.6 PROYECTO ESTRUCTURAL

Como resultado del estudio de rehabilitación estructural, se presenta a continuación el proyecto ejecutivo de la propuesta de solución al problema de agrietamientos del Templo San Felipe que consiste en:

4.6.1. Planta de cimentación.



4.6.2. Detalles de zapatas aisladas.



ESPECIFICACIONES

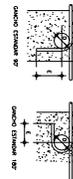
1. CUALQUIER TIPO DE CONCRETO, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRO.
 2. TIPO DE CONCRETO: CONCRETO PREMEZCLADO.
 3. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
 4. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
 5. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
 6. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
 7. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
 8. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
 9. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
 10. TIPO DE ACERO: ACERO DE ALTA RESISTENCIA.
- REGLAMENTOS DE DISEÑO**
1. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 2. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 3. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 4. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 5. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 6. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 7. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 8. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 9. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.
 10. ACUERDO DE DISEÑO DE OBRAS DE CONCRETO.

MATERIALES

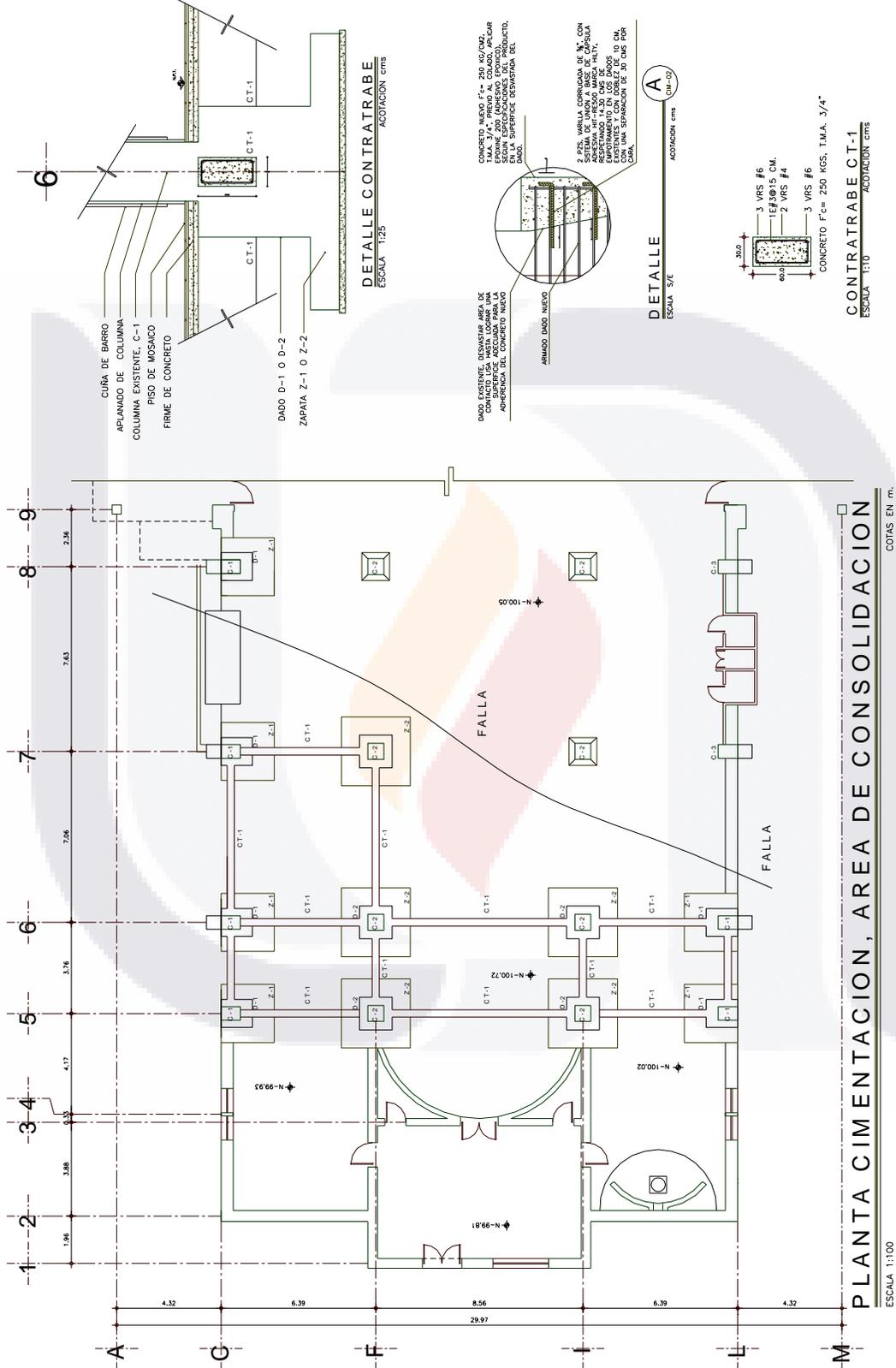
1. CONCRETO RESISTENCIA $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ EN PLANTILLAS DE DESPLANTE.
2. CONCRETO RESISTENCIA $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ EN COLUMNAS, VASTEDOS.
3. CONCRETO RESISTENCIA $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ EN OBRAS DE ESPESOR.
4. ACERO DE REFUERZO $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$.
5. ACERO DE REFUERZO $f_y = 6000 \text{ kg/cm}^2$, EN VASTEDOS.

DOBLECES

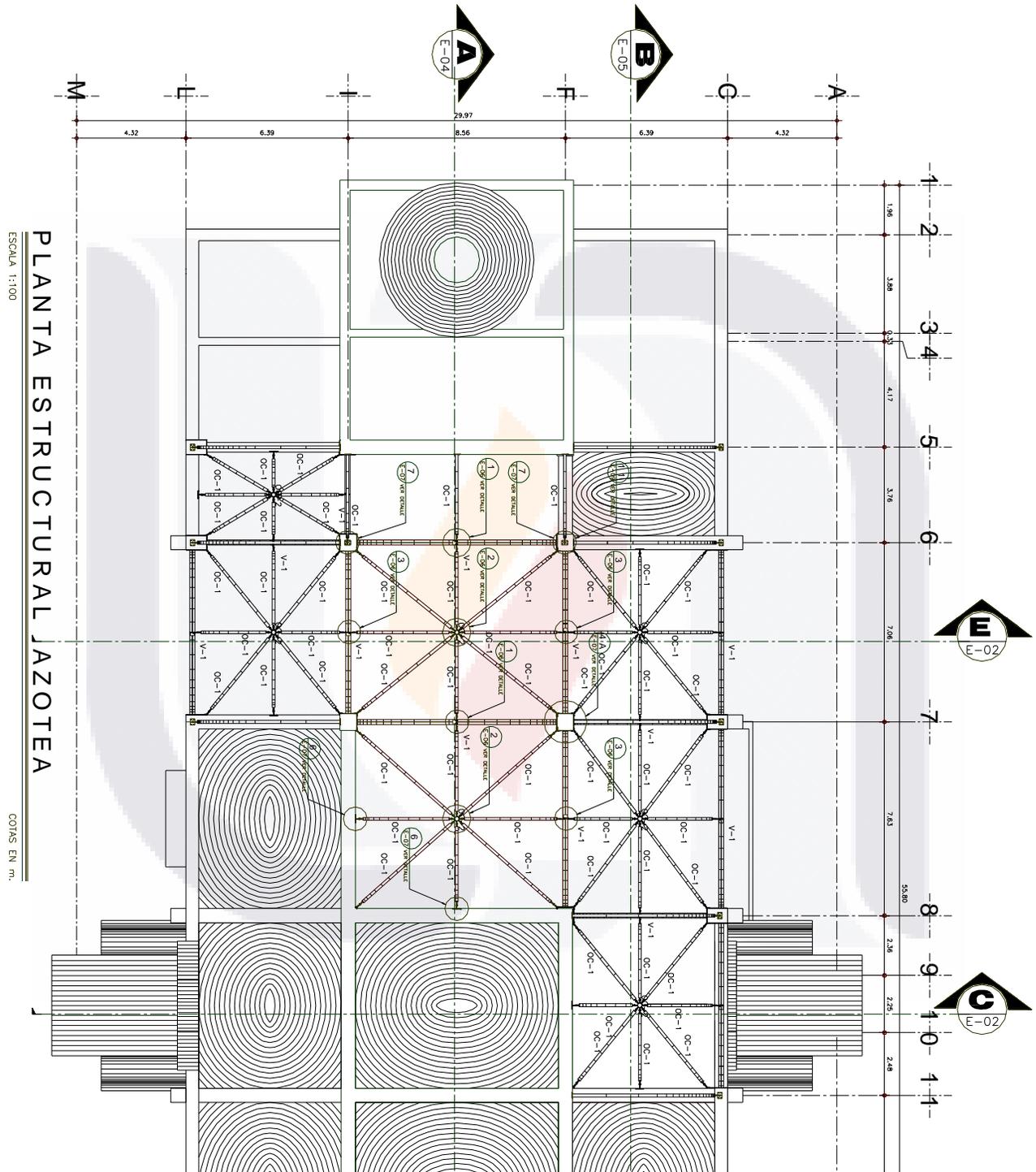
TIPO DE DOBLEZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



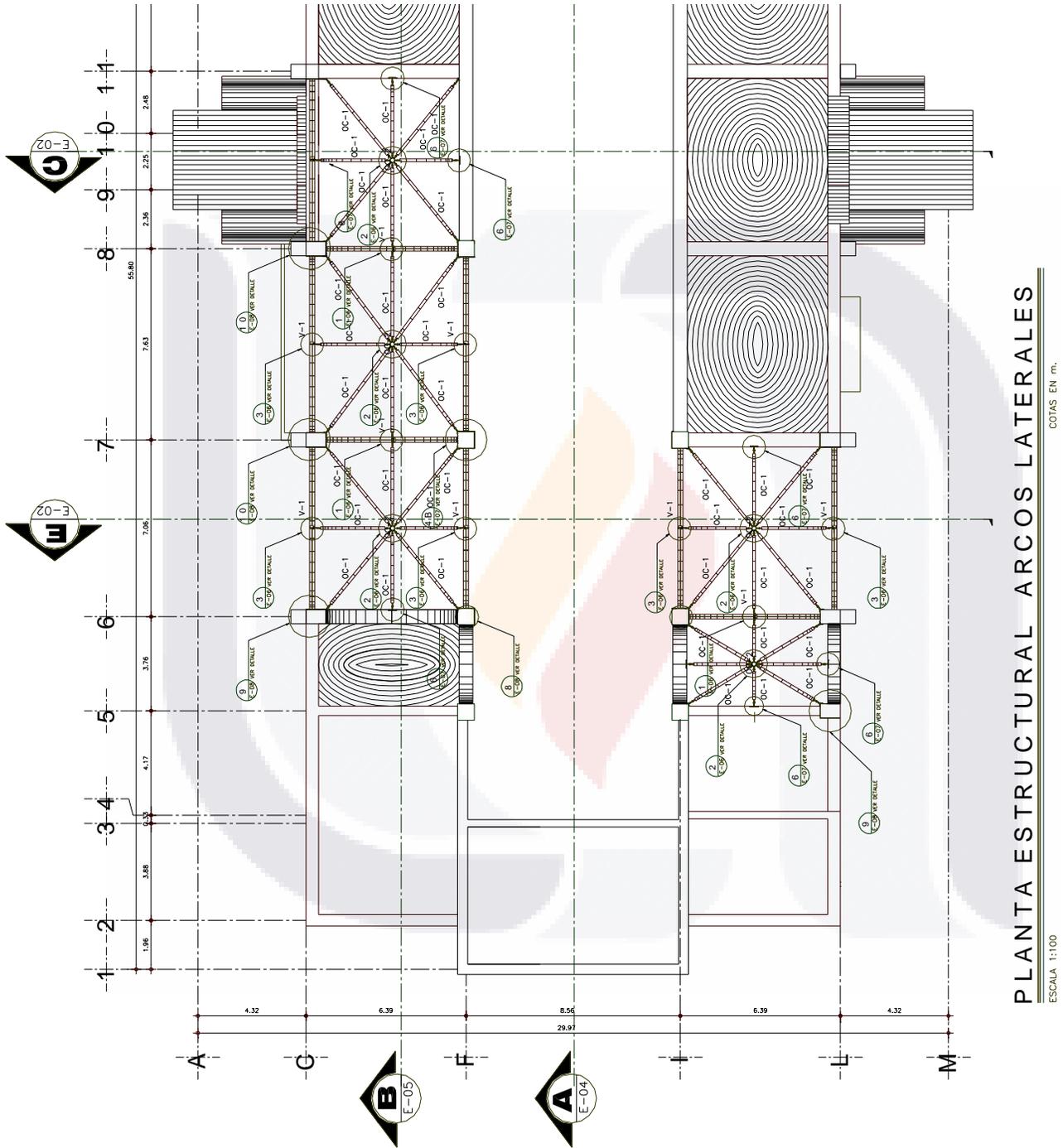
4.6.3. Detalle de anclajes y contratraves.



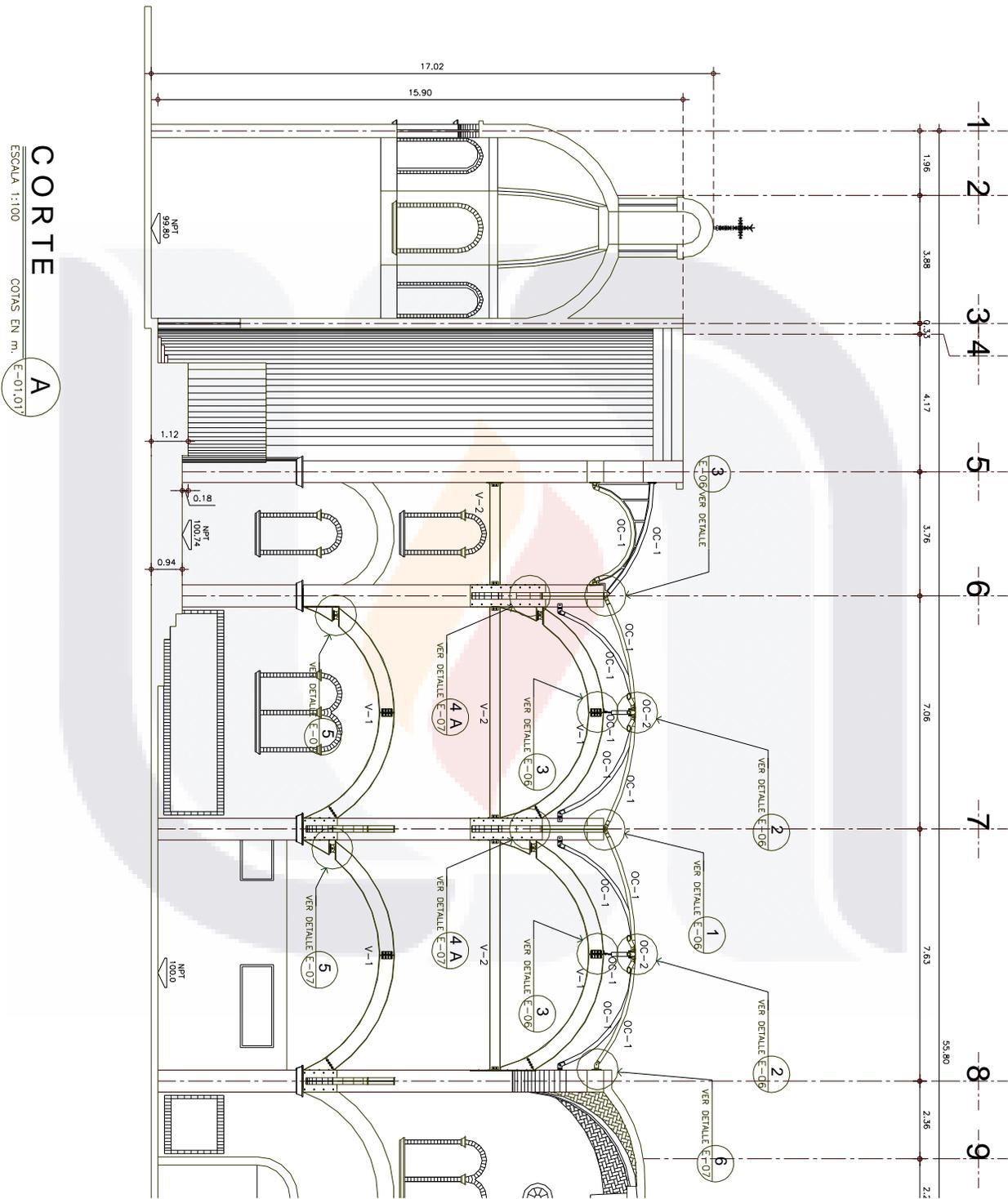
4.6.4. Planta estructural de azotea.



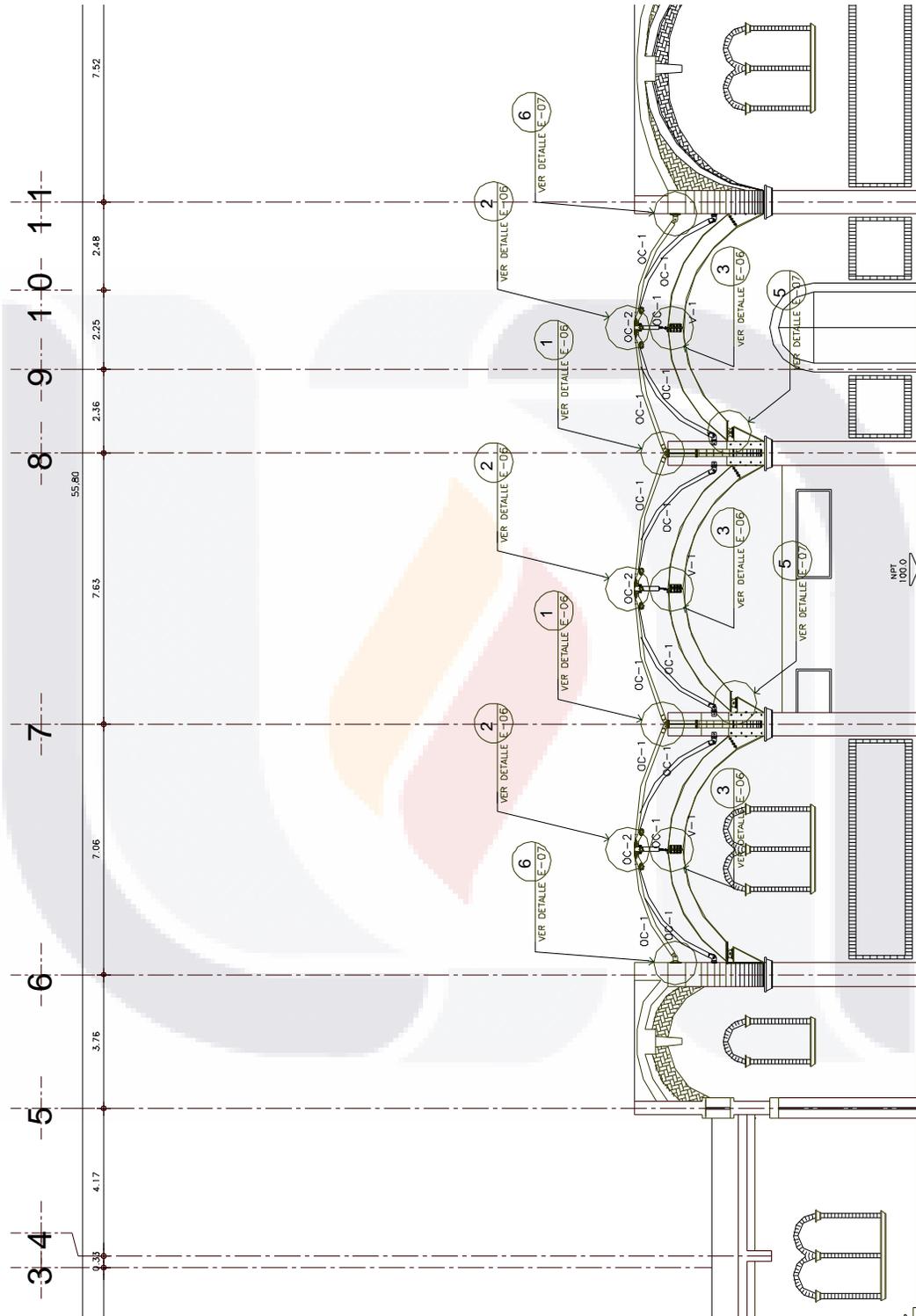
4.6.5. Planta estructural arcos laterales.



4.6.6. Corte estructural A.

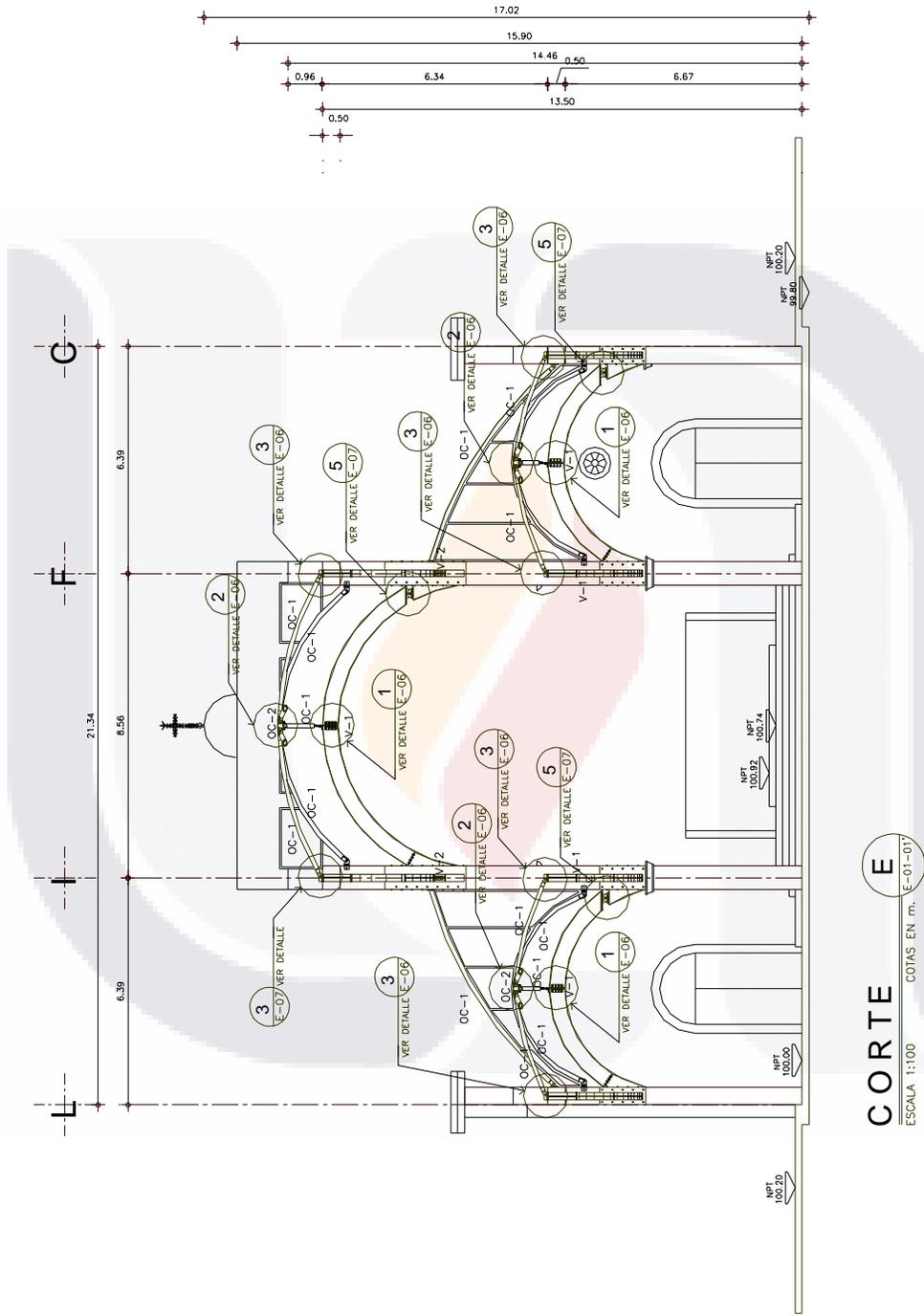


4.6.7. Corte estructural B.

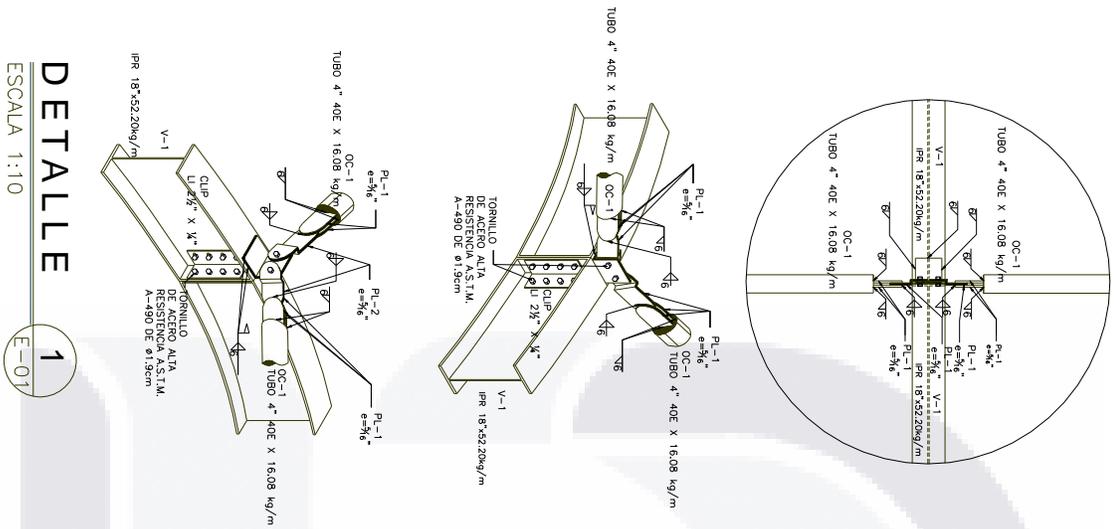


CORTE B
 ESCALA 1:100
 COTAS EN m. E-01-017

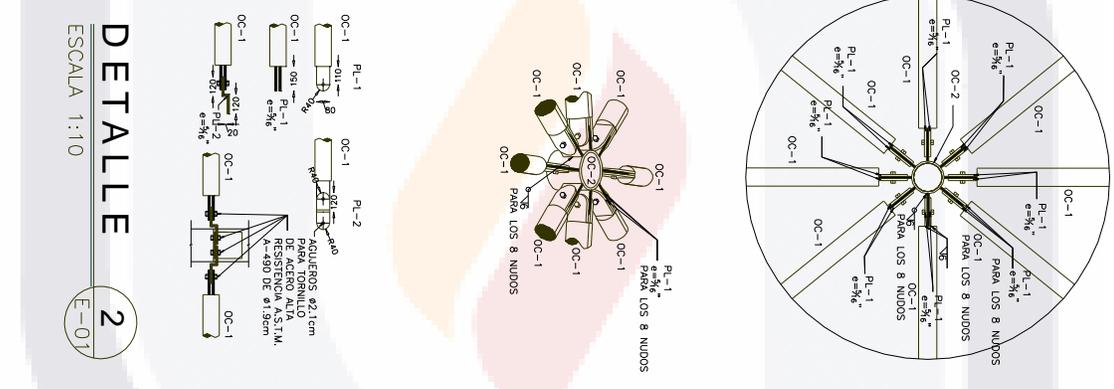
4.6.9. Corte E.



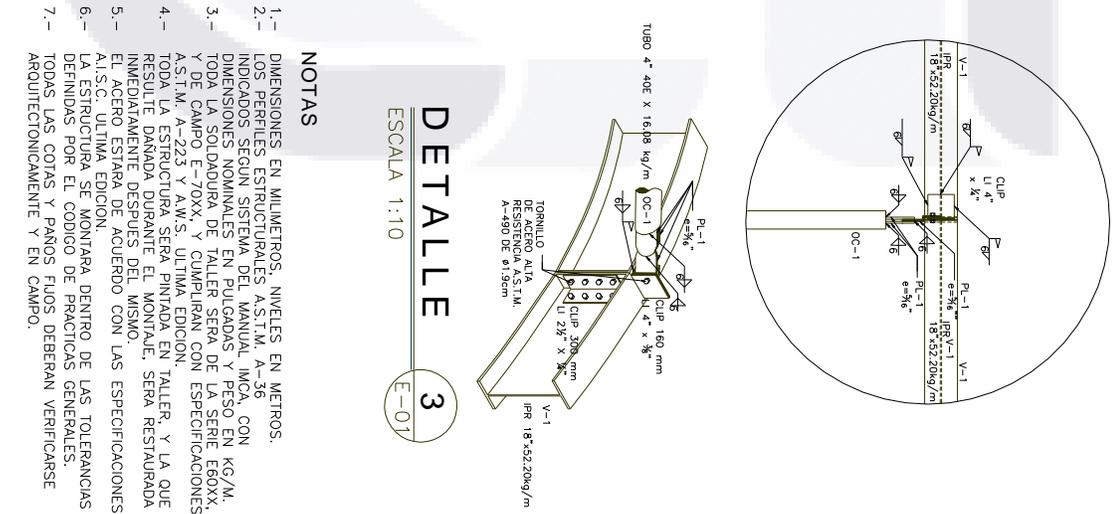
4.6.10. Detalles estructurales.



DETALLE 1
ESCALA 1:10
E-01



DETALLE 2
ESCALA 1:10
E-01

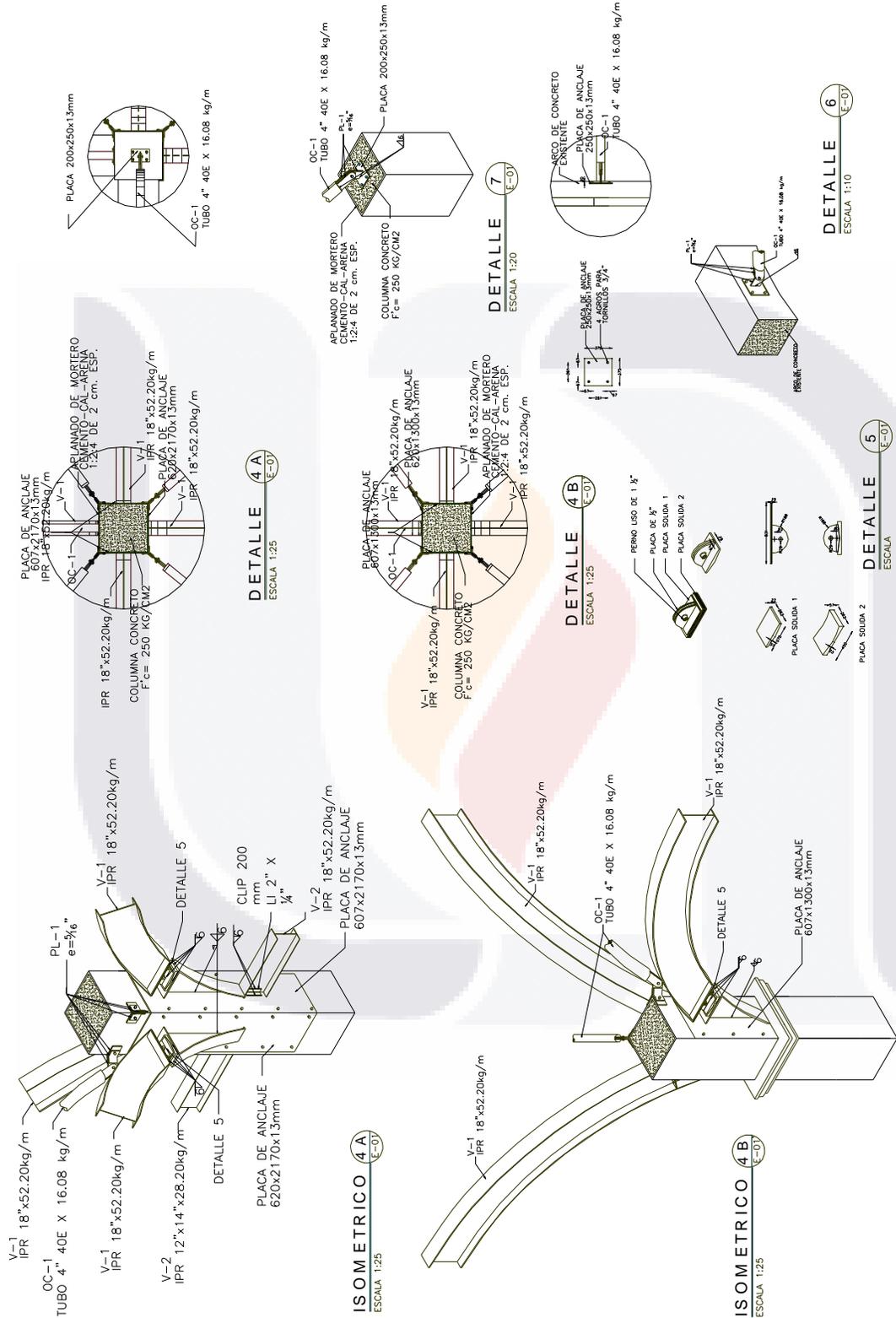


DETALLE 3
ESCALA 1:10
E-01

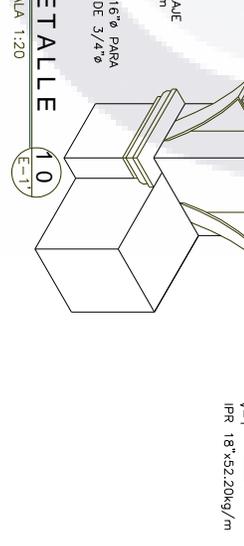
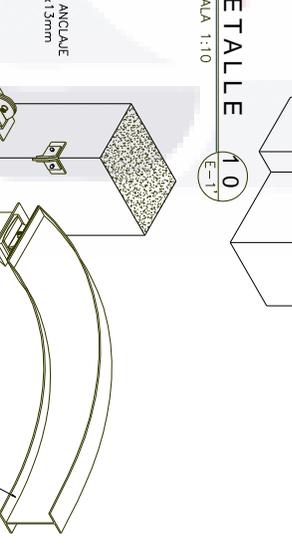
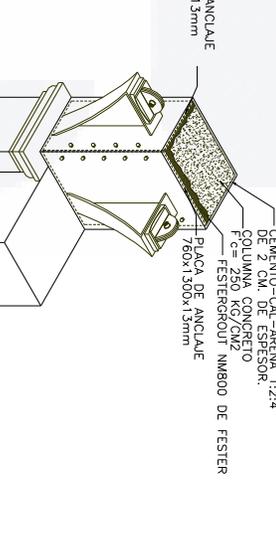
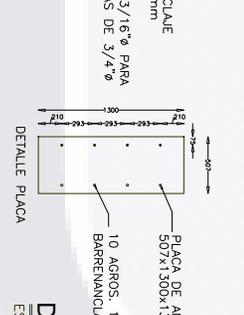
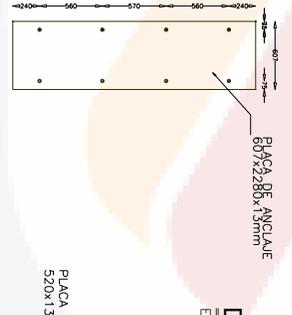
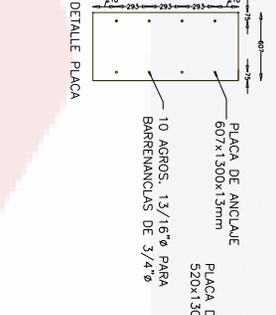
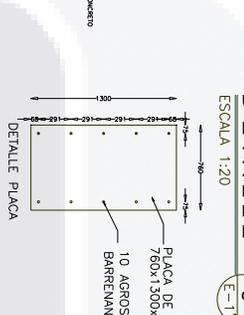
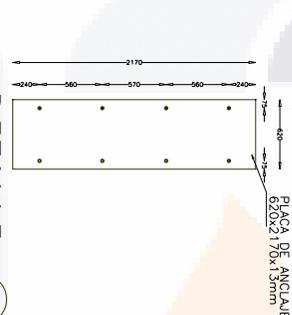
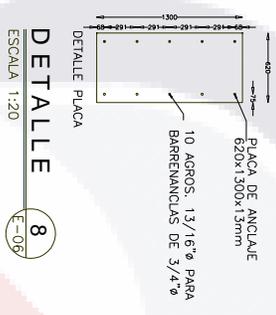
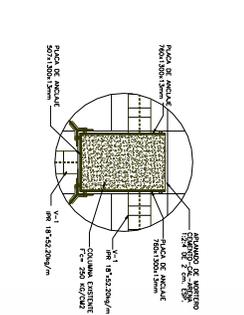
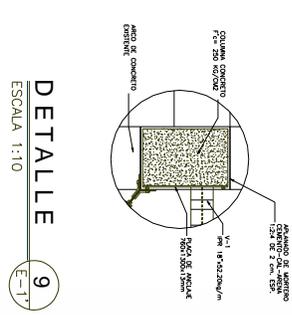
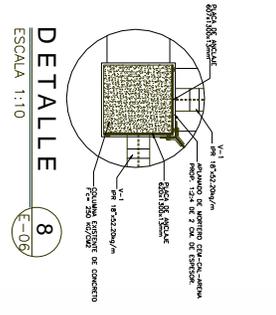
NOTAS

- 1.- DIMENSIONES EN MILIMETROS, NÚMEROS EN METROS.
- 2.- LOS PERFILES ESTRUCTURALES A.S.T.M. A-36 INDICADOS SEGUN SISTEMA DEL MANUAL IMCA, CON DIMENSIONES NOMINALES EN PULGADAS Y PESO EN KG/M.
- 3.- TODA LA SOLDADURA DE TALLER SERA DE LA SERIE E80XX, Y DE CAMPO E-70XX, Y CUMPLIRAN CON ESPECIFICACIONES A.S.T.M. A-223 Y A.W.S. ULTIMA EDICION.
- 4.- TODA LA ESTRUCTURA SERA PINADA EN TALLER, Y LA QUE RESULTE DANADA DURANTE EL MONTAJE, SERA RESTAURADA INMEDIATAMENTE DESPUES DEL MISMO.
- 5.- LA ESTRUCTURA SE MONTARA DENTRO DE LAS TOLERANCIAS A.I.S.C. ULTIMA EDICION.
- 6.- LAS FINIDAS POR EL CODIGO DE PRACTICAS GENERALES.
- 7.- TODAS LAS CORTAS Y PANOS FILOS DEBERAN VERIFICARSE ARQUITECTONICAMENTE Y EN CAMPO.

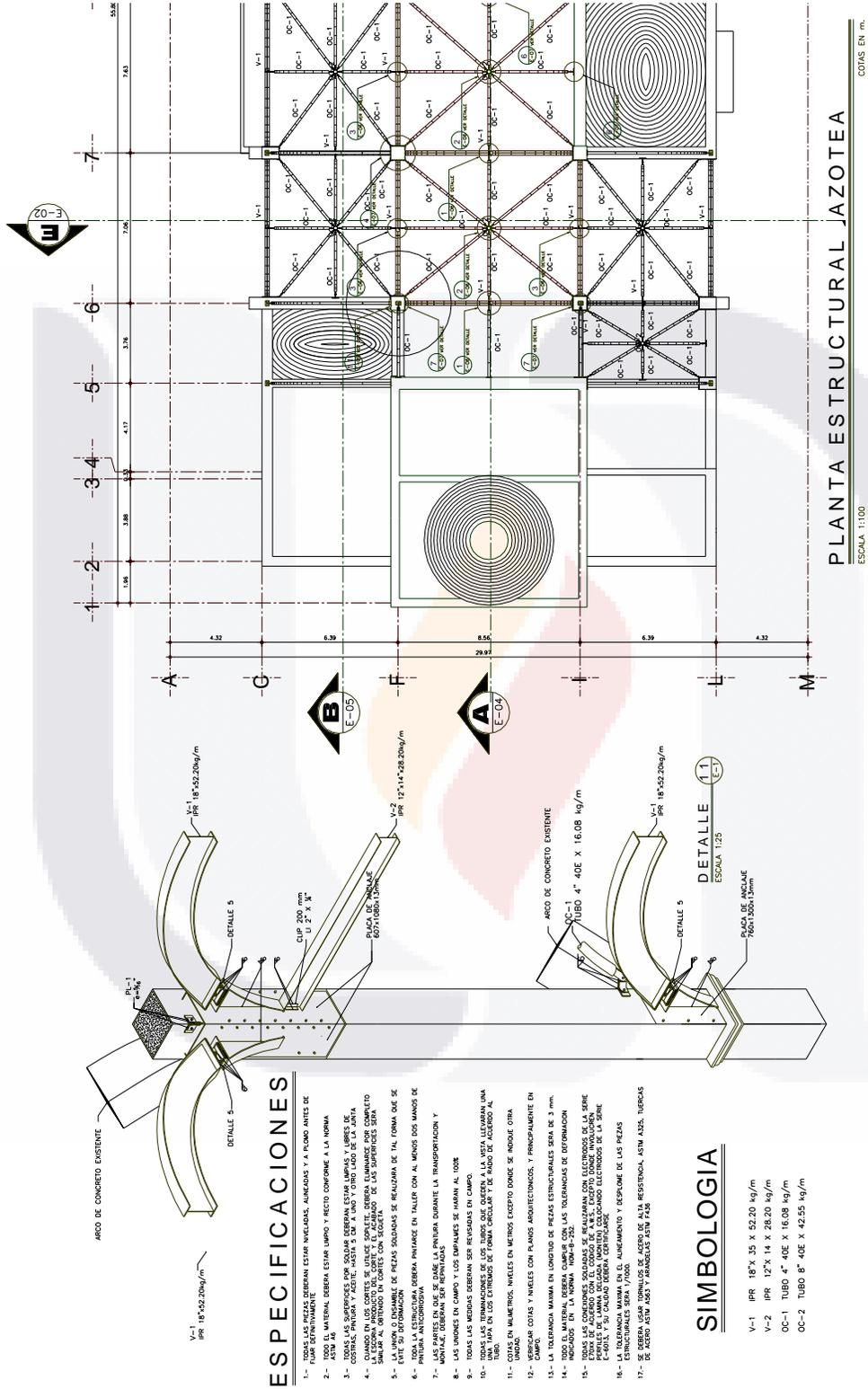
4.6.11. Detalles estructurales



4.6.12. Detalles estructurales.



4.6.13. Detalles estructurales.



ESPECIFICACIONES

- 1.- TODAS LAS PIEZAS DEBERÁN ESTAR VINCULADAS, VINCULADAS Y A PUNTO ANTES DE FLUJO DEFINITIVAMENTE
- 2.- TODA LA MATERIA DEBE ESTAR LIMPIO Y RECTO CONFORME A LA NORMA
- 3.- TODAS LAS SUPERFICIES POR SOLDAR DEBERÁN ESTAR LIMPIAS Y LIBRES DE GRASAS, PINTA Y ACEITE, HASTA 5 CM. A UNO Y ORO LADO DE LA JUNTA
- 4.- LA ELECTRODOS DEBERÁN SER DE TIPO E-70 Y EL ACABADO DE LAS SUPERFICIES DEBERÁ SER AL OBTENIDO EN CONCRETO CON SUELO
- 5.- EN EL CASO DE QUE LAS SUPERFICIES DE LAS PIEZAS SEAN DE ALTA CALIDAD, SE DEBE HACER UN CONTROL DE CALIDAD EN EL MOMENTO DE LA RECEPCIÓN DE LAS PIEZAS
- 6.- TODA LA ESTRUCTURA DEBERÁ ENTERRARSE EN TALLER CON AL MENOS DOS MANOS DE MONTAJE, DEBERÁN SER REVISADOS EN CAMPO
- 7.- LAS PARTES QUE SE USAN LA PRIMERA DURANTE LA TRANSPORTACION Y MONTAJE, DEBERÁN SER REVISADAS
- 8.- LAS UNIONES EN CAMPO Y LOS EMPALMES SE HARÁN AL TORNILLO
- 9.- TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER REVISADAS EN CAMPO
- 10.- TODAS LAS MEDIDAS DEBERÁN SER REVISADAS EN CAMPO
- 11.- TODOS LOS TUBOS DEBERÁN SER REVISADOS EN CAMPO
- 12.- VERIFICAR COTAS Y ANELES CON PLANOS ARQUITECTONICOS, Y PRINCIPALMENTE EN CAMPO
- 13.- VERIFICAR MANERA EN LONGITUD DE LAS PIEZAS ESTRUCTURALES SERA DE 3 mm.
- 14.- LA MATERIA DEBE CUMPLIR CON LAS TOLERANCIAS DE DEFORMACION INDICADAS EN LA NORMA ISO-8-202.
- 15.- TODAS LAS CONEXIONES DEBERÁN SER REALIZADAS CON ELECTRODOS DE LA SERIE E-70 Y LA MATERIA DEBE CUMPLIR CON LAS TOLERANCIAS DE DEFORMACION INDICADAS EN LA NORMA ISO-8-202.
- 16.- LA TOLERANCIA MÁXIMA EN EL AUMENTO Y DESPLAZO DE LAS PIEZAS ESTRUCTURALES SERA 1/1000
- 17.- SE DEBERÁ USAR UNOS MATERIALES CON LA PLUS RESISTENCIA, ASTM A325, TUBERIAS

SIMBOLOGIA

- V-1 IPR 15" X 35 X 52.20 kg/m
- V-2 IPR 12" X 14 X 28.20 kg/m
- OC-1 TUBO 4" 40E X 16.08 kg/m
- OC-2 TUBO 8" 40E X 42.55 kg/m

4.7. MODELO ESTRUCTURAL.

En este apartado, se presenta la propuesta de rehabilitación estructural aplicada en un modelo tridimensional realizado en el programa de diseño Autocad y ambientado en el software 3d Max.



Vista exterior del Templo



Vista interior de la propuesta estructural



Vista interior de la propuesta estructural



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

5.1. INTRODUCCIÓN

Una vez realizada la recopilación de la información disponible, así como la generación de la investigación complementaria y su respectivo análisis, se obtuvieron los resultados que permitieron determinar las siguientes conclusiones:

5.2. ESTUDIOS PREVIOS

La mayoría de los estudios hacen referencia a la existencia de un antiguo cauce en los estratos subyacentes a la cimentación, teoría presentada por el Ingeniero Geólogo Pedro Carlos Ávila Ramírez en diciembre de 1997, que se comprueba en la correlación geotécnica, topográfica, geoelectrica, microgravimétrica y contundentemente en el último estudio realizado por la Secretaría de Obras Públicas Estatales en noviembre de 2008, por lo que se puede concluir que **“la rehabilitación estructural del Templo San Felipe es factible”**.

5.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Referente a la recopilación de la información relacionada al problema de agrietamientos en el Templo San Felipe, se considera que se recabó el 95% de ésta, ya que se obtuvieron nueve estudios de diferentes disciplinas como los estudios geotécnicos, geológicos, topográficos, de microgravimetría y técnicos, además de tres dictámenes estructurales, todos ellos enfocados a resolver el problema en cuestión.

5.4. NIVELACION TOPOGRÁFICA

En lo referente al segundo punto planteado, se logró recabar la información de diez años de estudio de nivelaciones topográficas en donde se refleja la evolución de los asentamientos sufridos al interior del edificio y en donde se aprecia el hundimiento en la zona nor – poniente con un desnivel de 14 cm. promedio, cabe mencionar que existe un bloque que se ha mantenido prácticamente sin deformación en el período de análisis.

5.5. LEVANTAMIENTO ACTUAL DEL INMUEBLE

Relativo al levantamiento arquitectónico propuesto en el Trabajo, se logró realizar al 100%, ya que se contó con la colaboración del despacho del Arq. Jaime Antonio Randolph Rodríguez, información que se aplicó como base para la integración de la propuesta de rehabilitación estructural y la correlación con los estudios geoelectricos, y sísmicos.

5.6. ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE CONCRETO

Del estudio de la prueba no destructiva “Esclerómetro”, para la obtención de la resistencia a la compresión simple del concreto existente en los elementos estructurales del Templo San Felipe, se muestrearon 8 columnas en cada edificio, correlacionando la información del edificio Académico del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, obteniéndose los siguientes resultados:

En el edificio Académico se obtuvo un promedio de lecturas de 36.9 equivalente a 250 kg/cm².

En el Templo San Felipe, se obtuvo un promedio de lecturas de 39.9 equivalente a 270 kg/cm².

Considerando que las pruebas deben aplicarse a edades de resistencia del concreto en condiciones similares, se tomó el valor de 250 kg/cm². para integrar el modelo estructural de análisis.

5.7. LEVANTAMIENTO DE SECCIONES Y ARMADOS ESTRUCTURALES

Del levantamiento de secciones y armados existentes, se logró determinar las dimensiones y armados de los elementos estructurales de concreto reforzado como columnas, arcos, cimentación trapecial y contrafuertes a base de mampostería, datos que se aplicaron al modelo estructural de análisis y en la integración del proyecto estructural correspondiente.

5.8. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Derivado de la investigación y proceso de la información recabada, así como la aplicación de los datos obtenidos al modelo estructural de integración, se realizó un análisis estático tridimensional de la estructura, tomando en cuenta los todos los grados de libertad correspondientes, así como las fuerzas que intervienen en éste, con un resultado satisfactorio, del que se realizaron los planos estructurales correspondientes.

5.9. PROPUESTA DE RECIMENTACIÓN

En base al resultado del análisis de la información del subsuelo donde se ubica el Templo, se determinó la factibilidad de rehabilitación con la propuesta de recimentación mediante el uso de micropilotes de concreto colados in situ concretamente en la zona de estabilización, y utilizando cuatro micropilotes de 30 cm. de diámetro por zapata, del que se obtuvo un análisis satisfactorio.

5.10. PROYECTO ESTRUCTURAL

Como resultado del análisis estructural y revisión de la recimentación satisfactorios, se procedió a la elaboración del proyecto ejecutivo de la estructura con tres planos de cimentación, dos plantas estructurales, cuatro cortes estructurales y cuatro de detalles, complementándolo con un modelo tridimensional del que se generaron las perspectivas de la propuesta de rehabilitación final.

5.11 CONCLUSIÓN

De acuerdo a la recopilación de la gran mayoría de los estudios realizados a lo largo de tiempo en que se inhabilitó el Templo San Felipe, se logró efectuar un análisis completo de los factores que pudieron haber influido en el agrietamiento de pisos, muros y cúpulas, completando satisfactoriamente los objetivos planteados en el Trabajo Práctico concluyendo con la factibilidad de rehabilitación y la propuesta estructural integral correspondiente.

5.12. RECOMENDACIONES

Como resultado final, la Secretaría de Obras Públicas propone un sistema de recimentación que a mi juicio resultaría demasiado oneroso y lento ya que el proceso constructivo resulta complejo puesto que consta del siguiente procedimiento:

- ✚ Apuntalar todas las áreas cercanas a la trayectoria de los agrietamientos.
- ✚ Una vez asegurada el área, excavar hasta encontrar el terreno firme, que en éste caso, se detectó a una profundidad de 5.30 m. que pudiera variar de acuerdo a los perfiles Geoeléctricos.
- ✚ Rellenar con concreto ciclópeo, hasta una altura considerable.
- ✚ Nivelar la estructura con gatos hidráulicos
- ✚ Apuntalar la cimentación
- ✚ Confinar la cimentación a base de concreto resistente y
- ✚ Rellenar con material de banco hasta nivel de firme.

La propuesta de recimentación del Trabajo Práctico, se considera más sencilla y práctica ya que de aprobarse, no se tendría que apuntalar toda el área, sino sólo la de trabajo, es decir columna por columna, se realizaría la perforación con equipo especial para el colado de los micropilotes (cuatro por zapata), colar la zapata de acuerdo al armado y sección de proyecto, ampliar la sección del dado escarificando el existente, anclando varillas con productos químicos para soportar el armado de la ampliación del dado de cimentación, colar y rellenar con material inerte hasta nivel de firme.

Respecto a la estructura, se propone la demolición de los arcos de concreto ya que éstos se encuentran agrietados, para reponerlos con perfiles metálicos tipo IPR de 18" y Tubulares de 4" serie 40 para el forjado de las cúpulas que proporcionaría el estado arquitectónico existente, contará con una cubierta de lona estructural con sus respectivos sistemas de drenaje en caso de lluvia y finalmente recubrir las áreas de complemento de fachada con productos de panel de cemento o tablaroca especial para intemperie, como se muestra en el modelo tridimensional.

De aprobarse la rehabilitación estructural, se puede establecer como complemento a los estudios presentados:

- ✚ Realizar estudios geotécnicos en las columnas de la trayectoria de agrietamiento para confirmar definitivamente la teoría de la existencia del paleocauce y por ende realizar la rehabilitación del Templo.
- ✚ De confirmarse la teoría anterior, se pudiera plantear la posibilidad de recimentar en base a la propuesta de micropilotes y reestructurar el inmueble con los materiales originales y aplicando materiales epóxicos como reparación de los elementos de concreto reforzado (Arcos).
- ✚ Llevar a cabo un estudio sobre la patología de los agrietamientos y la realización de una propuesta de recimentación de los muros perimetrales, de los que se observó, carecen de una cimentación adecuada.

Los estudios geofísicos, geológicos y de microgravimetría, denotan la existencia de una protuberancia en el subsuelo a profundidades mucho mayores a las de los estudios geotécnicos, la propuesta estructural de rehabilitación contempla un posible desplazamiento vertical que en un momento dado, el sistema de articulaciones las piezas especiales diseñadas, serían capaces de absorber estos posibles movimientos.



APÉNDICE A

Se presenta el estudio de datos de la prueba del Esclerómetro para la obtención de la resistencia a la compresión simple del concreto de los elementos estructurales del Templo San Felipe correlacionados con el edificio Académico de Ciencias del Diseño y de la Construcción.

EJE D2			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	39	N	39
2	35	N	35
3	34	N	34
4	37	N	37
5	40	N	40
6	39	N	39
7	37	N	37
8	39	N	39
9	34	N	34
10	36	N	36
11	32	N	32
12	41	N	41
13	36	N	36
14	35	N	35
15	42	N	42
16	42	N	42
PROM.	37,4	PROMEDIO REAL	37,4

Lecturas de esclerómetro en el eje D2 edificio CCDC

EJE D3			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	35	N	35
2	40	N	40
3	34	N	34
4	41	N	41
5	37	N	37
6	39	N	39
7	38	N	38
8	35	N	35
9	34	N	34
10	41	N	41
11	36	N	36
12	40	N	40
13	38	N	38
14	36	N	36
15	34	N	34
16	33	N	33
PROM.	36,9	PROMEDIO REAL	36,9

Lecturas de esclerómetro en el eje D3 edificio CCDC

EJE D4			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	40	N	40
2	40	N	40
3	42	N	42
4	40	N	40
5	37,5	N	37,5
6	38	N	38
7	40	N	40
8	38	N	38
9	36	N	36
10	40	N	40
11	41	N	41
12	40	N	40
13	40	N	40
14	40	N	40
15	40	N	40
16	39	N	39
PROM.	39,5	PROMEDIO REAL	39,5

Lecturas de esclerómetro en el eje D4 edificio CCDC

EJE F2			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	35	N	35
2	34	N	34
3	33	N	33
4	33	N	33
5	35	N	35
6	34	N	34
7	33	N	33
8	34	N	34
9	33	N	33
10	32	N	32
11	34	N	34
12	35	N	35
13	34	N	34
14	35	N	35
15	34	N	34
16	35	N	35
PROM.	33,9	PROMEDIO REAL	33,9

Lecturas de esclerómetro en el eje F2 edificio CCDC

EJE F3			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	36	N	36
2	35	N	35
3	39	N	39
4	39	N	39
5	40	N	40
6	39	N	39
7	34	N	34
8	34	N	34
9	40	N	40
10	34	N	34
11	35	N	35
12	34	N	34
13	36	N	36
14	33	N	33
15	36	N	36
16	34	N	34
PROM.	36,1	PROMEDIO REAL	36,1

Lecturas de esclerómetro en eje F3 edificio CCDC

EJE F4			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	39	N	39
2	36	N	36
3	40	N	40
4	41	N	41
5	37	N	37
6	37	N	37
7	33	N	33
8	36	N	36
9	36	N	36
10	37	N	37
11	35	N	35
12	41	N	41
13	33	N	33
14	36	N	36
15	35	N	35
16	33	N	33
PROM.	36,6	PROMEDIO REAL	36,6

Lecturas de esclerómetro en eje F4 edificio CCDC

EJE G3			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	40	N	40
2	37	N	37
3	40	N	40
4	41	N	41
5	38	N	38
6	38	N	38
7	37	N	37
8	37	N	37
9	40	N	40
10	38	N	38
11	36	N	36
12	41	N	41
13	40	N	40
14	41	N	41
15	39	N	39
16	40	N	40
PROM.	38,9	PROMEDIO REAL	38,9

Lecturas de esclerómetro en eje G3 edificio CCDC

EJE G4			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	28,5	S	
2	37,5	N	37,5
3	34	N	34,0
4	41	N	41,0
5	34	N	34,0
6	36	N	36,0
7	35	N	35,0
8	36	N	36,0
9	34	N	34,0
10	36	N	36,0
11	36	N	36,0
12	36	N	36,0
13	44	S	
14	34	N	34,0
15	38	N	38,0
16	35	N	35,0
PROM.	35,9	PROMEDIO REAL	35,9

Lecturas de esclerómetro en eje G4 edificio CCDC

COLUMNA F6			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	44	N	44
2	46	S	
3	36	N	36
4	37	N	37
5	46	S	
6	40	N	40
7	45	N	45
8	41	N	41
9	41	N	41
10	40	N	40
11	36	N	36
12	36	N	36
13	42	N	42
14	39	N	39
15	42	N	42
16	40	N	40
PROM.	40,7	PROMEDIO REAL	39,9

Lecturas de esclerómetro columna F6 San Felipe

COLUMNA I6			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	36	N	36
2	38	N	38
3	39	N	39
4	40	N	40
5	36	N	36
6	43	S	
7	40	N	40
8	32	N	32
9	34	N	34
10	30	S	
11	40	N	40
12	26	S	
13	33	N	33
14	36	N	36
15	35	N	35
16	33	N	33
PROM.	35,7	PROMEDIO REAL	36,3

Lecturas de esclerómetro columna I6 San Felipe

COLUMNA F7			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	39	N	39
2	53	S	
3	41	N	41
4	44	N	44
5	32	S	
6	53	S	
7	44	N	44
8	39	N	39
9	41	N	41
10	43	N	43
11	53	S	
12	40	N	40
13	33	S	
14	32	S	
15	34	S	
16	36	S	
PROM.	41,4	PROMEDIO REAL	41,4

Lecturas de esclerómetro columna F7 San Felipe

COLUMNA I7			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	31	S	
2	32	S	
3	37	N	37
4	35	N	35
5	40	N	40
6	38	N	38
7	40	N	40
8	33	N	33
9	33	N	33
10	36	N	36
11	36	N	36
12	44	S	
13	44	S	
14	41	N	41
15	39	N	39
16	40	N	40
PROM.	37,4	PROMEDIO REAL	37,3

Lecturas de esclerómetro en columna I7 San Felipe

COLUMNA F8			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	36	N	36
2	36	N	36
3	41	N	41
4	40	N	40
5	44	N	44
6	45	N	45
7	44	N	44
8	39	N	39
9	39	N	39
10	46	N	46
11	38	N	38
12	42	N	42
13	40	N	40
14	38	N	38
15	40	N	40
16	35	N	35
PROM.	40,2	PROMEDIO REAL	40,2

Lecturas de esclerómetro columna F8 San Felipe

COLUMNA I8			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	36	N	36
2	36	N	36
3	41	N	41
4	40	N	40
5	44	N	44
6	45	N	45
7	44	N	44
8	39	N	39
9	39	N	39
10	46	N	46
11	38	N	38
12	42	N	42
13	40	N	40
14	39	N	39
15	41	N	41
16	40	N	40
PROM.	40,8	PROMEDIO REAL	40,8

Lecturas de esclerómetro columna I8 San Felipe

COLUMNA F11			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	36	N	36
2	36	N	36
3	41	N	41
4	40	N	40
5	44	N	44
6	45	N	45
7	44	N	44
8	39	N	39
9	39	N	39
10	46	N	46
11	38	N	38
12	42	N	42
13	40	N	40
14	39	N	39
15	41	N	41
16	40	N	40
PROM.	40,8	PROMEDIO REAL	40,8

Lecturas de esclerómetro columna F11 San Felipe

COLUMNA I11			
CELDA	LECTURA	SE DESECHA DATO	LECTURA
1	41	N	41
2	48	N	48
3	48	N	48
4	52	S	
5	58	S	
6	48	N	48
7	38	S	
8	42	N	42
9	50	S	
10	40	N	40
11	40	N	40
12	32	S	
13	40	N	40
14	48	N	48
15	38	S	
16	50	S	
PROM.	44,6	PROMEDIO REAL	43,9

Lecturas de esclerómetro columna I11 San Felipe

APÉNDICE B

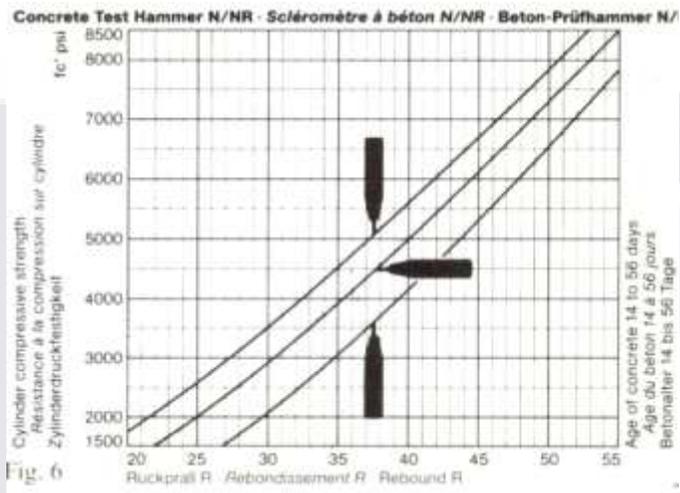
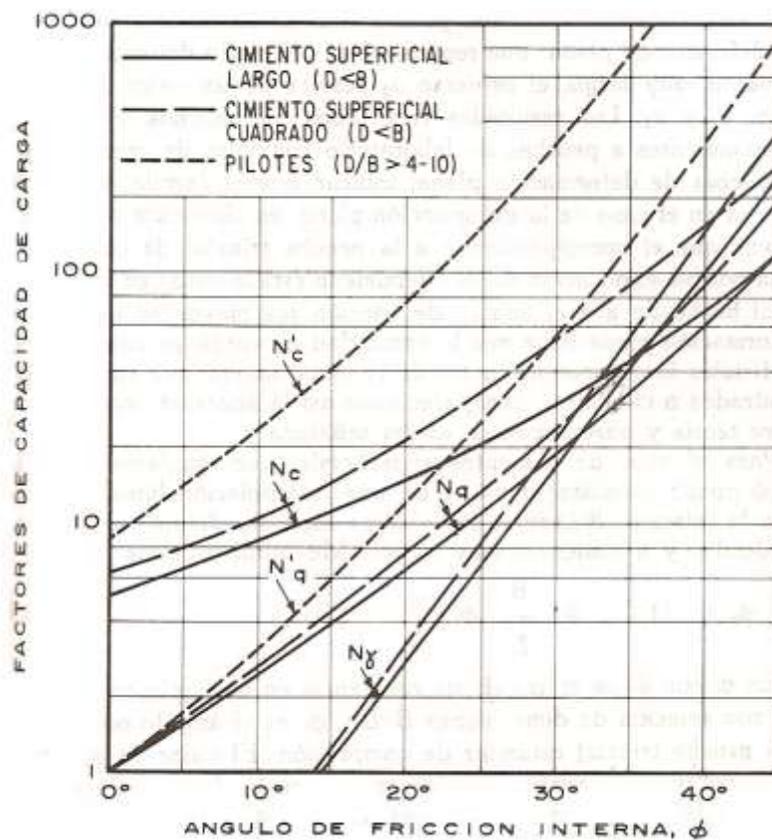


Fig. 6 que representa los valores correspondientes a utilizar en unidades PSI y muestra la forma de aplicar el método de la prueba del esclerómetro.

APÉNDICE C



La figura VII-14, muestra los factores de capacidad de carga para cimientos superficiales y pilotes.

GLOSARIO

Resistividad. f. Electr. Resistencia eléctrica específica de una determinada sustancia.

Acuífero. adj. Geol. Dicho de una capa o vena subterránea: Que contiene agua.

Micrómetro. Medida de longitud que equivale a la millonésima (10⁻⁶) parte del metro. (Símb. μ m).

Aluvial. Sedimento arrastrado por las lluvias o las corrientes.

Tectónico. adj. Geol. Perteneciente o relativo a la estructura de la corteza terrestre.

Geofísica. f. Parte de la geología que estudia la física terrestre.

Subsidencia. f. Geol. Hundimiento paulatino del suelo, originado por las cavidades subterráneas producidas por la extracción de agua.

Cohesión. f. Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia de que están formadas.

Estratigrafía. f. Geol. Disposición seriada de las rocas sedimentarias de un terreno o formación.

Granulometría. f. Parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos.

Erosión. f. Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento.

Ciclópeo. adj. Concreto pobre hecho que se distingue por el tamaño de sus agregados máximos (Piedra de boleó de 3 a 4").

Bóveda. f. Arq. Obra de fábrica curvada, que sirve para cubrir el espacio comprendido entre dos muros o varios pilares.

Geología. f. Ciencia que trata de la forma exterior e interior del globo terrestre, de la naturaleza de las materias que lo componen y de su formación, de los cambios o alteraciones que estas han experimentado desde su origen, y de la colocación que tienen en su actual estado.

Litología. f. Parte de la geología que trata de las rocas.

Paleocauce. Complejo fluvial que se abastece de agua por la presencia de un manantial de cierta importancia que se presenta en cierta época del año.

Epóxicos. Material orgánico conteniendo resinas que es usado para: protección, decoración y recubrimientos funcionales en cualquier tipo de superficie.

Microgravimetría. Variaciones relativas del componente vertical de la aceleración de la gravedad, afectadas por diferencias en densidad del subsuelo.

Geotécnia. f. Estudio de la interacción entre el suelo, su composición y comportamiento frente a las construcciones y edificaciones que se cimentan en el mismo.

Graben. El conjunto de dos fallas normales paralelas con inclinación opuesta en un ambiente tectónico expansiva se llama graben o fosa tectónica. El tamaño de un graben puede ser centímetros hasta grabenes grandes alrededor de 300 km.

Elemento Finito. (Finite Element Method, FEM) es una técnica matemática computacional útil para obtener soluciones numéricas aproximadas de las ecuaciones abstractas del cálculo que predice la respuesta de sistemas físicos sujetos a influencias externas.



REFERENCIAS

- ✚ Estudio Geotécnico. GEOSYC (26 de mayo de 1997)
- ✚ Estudio Geológico. Ing. Geólogo Carlos Ávila Ramírez (diciembre de 1997)
- ✚ Dictámen Pericial. Ing. Lucio Montero Orozco (16 de abril de 1998)
- ✚ Segundo Dictámen Pericial. Ing. Lucio Montero Orozco (07 de diciembre de 1998)
- ✚ Dictámen Estructural. Amador Construcciones y Estructuras (15 de febrero de 1999)
- ✚ Estudio Geoeléctrico. CEAPA (marzo de 1999)
- ✚ Estudio Geofísico. Universidad Autónoma de Querétaro (junio de 2000)
- ✚ Dictámen definitivo del Grupo Técnico Multidisciplinario (3 de febrero de 2005)
- ✚ Programa de Demoliciones. Colegio de Ingenieros Civiles de Aguascalientes (17 de octubre de 2005)
- ✚ Estudio para la Rehabilitación del Templo San Felipe. Universidad Autónoma de Aguascalientes (2005)
- ✚ Estudio Geoeléctrico. Terra Tecnología (diciembre de 2007)
- ✚ Estudio Geotécnico. Laboratorio COSOC (enero de 2008).
- ✚ Estudio Geotécnico. Ing. Víctor Daniel López Sánchez. Secretaría de Obras Públicas Estatales (Noviembre de 2008).

BIBLIOGRAFÍA

1. IMCA, Manual de Construcción en Acero (2003) "DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES", LIMUSA 4ª EDICIÓN, págs. 62, 66, 68, 102.
2. Cuevas, O. y Robles, F. (2007), "ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO", LIMUSA 4ª EDICIÓN, 799 pp.
3. Meli, R. (2008), "DISEÑO ESTRUCTURAL", LIMUSA 2ª EDICIÓN 596 pp.
4. Engel, E. (2006), "SISTEMAS DE ESTRUCTURAS", GUSTAVO GILI 1ª EDICIÓN, 351 pp.
5. Peck, Hanson y Thornburn, (2003), "INGENIERÍA DE CIMENTACIONES", LIMUSA 557 pp.
6. Neufert, E. (2004), "EL ARTE DE PROYECTAR EN ARQUITECTURA", GUSTAVO GILI 14ª EDICIÓN págs. 84-89.
7. Juárez, E., Rico, A. (2004), "TEORÍA Y APLICACIONES DE LA MECÁNICA DE SUELOS", LIMUSA 703 pp.
8. American Institute of Steel Construction (AISC). (1992), "MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION" CONNECTIONS VOL II ASD/LRFD 9th EDITION, 1st EDITION, PRENTICE-HALL HISPANO AMERICA S.A., 729 pp.
9. Normas Técnicas Complementarias del D.F. (2004), "NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS".
10. Normas Técnicas Complementarias del D.F. (2004), "NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR VIENTO".
11. Normas Técnicas Complementarias del D.F. (2004), NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO".
12. American Institute of Steel Construction, Inc. (2005), "SPECIFICATION FOR STRUCTURAL STEEL BUILDINGS ANSI/AISC 360-05"